



JURNAL

PENGUJIAN BALOK BETON DENGAN MENGGUNAKAN TULANGAN EKSTERNAL (BAJA LIPS CHANNEL)

Testing of Concrete Beams using External Reinforcement (Steel Lips Channel)

DWI ANGGONO

L2A 307 008

FIRMAN EDY S

L2A 307 010

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

SEMARANG

2012

ABSTRAKS

Pengujian balok beton eksternal ini menguji tentang pemanfaatan tulangan eksternal sebagai pengganti tulangan pada beton. Pemasangan baja tulangan eksternal direncanakan bukan dari batang baja tulangan yang berpenampang lingkaran, melainkan baja *lips channel* yang memiliki lekatan, dan pengekangan pada balok beton. *Lips channel* sebagai perkuatan di tepi luar balok beton akan menggantikan baja tulangan beton yang tertanam di dalamnya, sehingga jarak antara titik berat *lips channel* di serat tarik (bawah) dan titik berat daerah tekan balok beton lebih besar. Material terluar beton yang memiliki nilai regangan yang lebih kecil dapat tergantikan dengan baja.

Penggunaan tulangan eksternal baja *lips channel* pada balok beton yang menerima beban lentur sangat menarik diteliti, khususnya cara mengurangi bahkan meniadakan slip antara baja *lips channel* dan beton. Mutu beton rencana adalah $f'c$ 45 MPa (K500) dengan panjang uji benda 180 cm, lebar 12,5 cm, tinggi 18,5 cm.

Kata kunci : Baja Lips Channel, beton bertulang, Slip

ABSTRAKS

Testing of concrete beams externally tested on the use of external reinforcement in concrete reinforcement instead. Installation is planned external reinforcement steel rods instead of steel reinforcement Berpenampang circle, but lips steel channel with coherence, and restraints on concrete blocks. Lips channel as reinforcement at the outer edge of the concrete block will replace the concrete reinforcing steel embedded in it, so the distance between the center of gravity in the fiber channel lips pull (bottom) and gravity concrete beams hit area larger. Concrete outer material has a smaller strain values can be replaced with steel.

The use of external reinforcement steel in concrete beams lips channel receiving bending loads very interesting study, particularly how to reduce and even negate the slip between the steel and the concrete channel lips. Quality concrete f_c plan is 45 MPa (K500) with a lengthy test object 180 cm, width 12.5 cm, height 18,5 cm.

Keywords: Steel Lips Channel, Reinforced Concrete, Slip

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja sebagai salah satu pilihan dalam struktur bangunan karena bersifat elastoplastik, tahan terhadap tarik, daktilitas yang relatif lebih tinggi daripada beton, serta memiliki tegangan residu (Spacone, E. dan El-Tawil, S., 2004). Penggabungan baja dan beton dilakukan untuk mendapatkan kualitas bahan baru yang lebih baik, bahan tersebut dikenal dengan komposit atau campuran atau hybrid (Spacone, E. dan El-Tawil, S., 2004). Berbagai material komposit yang telah ada yaitu: beton berserat (Naaman, et.al,1991; Suhendro, 1991; Balaguru dan Sah, 1992; Bentur, 1996; Toledo F.R.D., et al., 1999; Li, 2002), komposit baja profil dengan plat lantai beton beralas plat baja, balok atau kolom beton dengan perkuatan baja tulangan di dalamnya, baja profil di dalam beton, dan beton berselimut pipa baja atau *concrete filled steel tubes*-CFST (Tong, 1994, Gourley et al., 2001, Varma, et al., 2003, Samhal, E., 2005, Muslikh, 2005, Kim Young-Ho, et. al., 2006).

Secara teoritis keunggulan baja tulangan eksternal dibanding beton bertulang konvensional dengan baja tulangan internal, yaitu mampu meningkatkan daya dukung balok beton, karena

- 1) regangan baja (ϵ_s) *lips channel* sebagai pelindung beton lebih tinggi daripada regangan beton, ϵ_c , sehingga retak awal tertunda,
- 2) momen nominal lentur dan momen inersia lebih besar,
- 3) analog dengan CFST maka kekuatan tekuk baja eksternal lebih tinggi karena tertahan beton pengisi lubang (Roeder, et al., 1999, Gourley et al., 2001.
- 4) kuat geser relatif lebih tinggi karena pengekangan,
- 5) baja eksternal dapat difungsikan sebagai cetakan beton segar, sehingga waktu pelaksanaan lebih singkat dan akhirnya lebih ekonomis (Griffis, 1992 dalam Spacone, E. dan El-Tawil, S., 2004.

6) balok beton tulangan eksternal lebih tahan terhadap beban gempa.

1.2 Perumusan Masalah

- 1) Apakah pemasangan tulangan eksternal dapat meningkatkan daya dukung balok?
- 2) Bagaimana perilaku balok beton bertulangan eksternal dari baja profil C, akibat beban monotonik.
- 3) Apakah rumusan tegangan regangan balok beton konvensional yang diperkuat baja tulangan internal dapat diterapkan pada beton bertulangan eksternal dari baja profil C?

1.3 Batasan Masalah

Kekuatan balok beton yang menggunakan baja kanal C sebagai perkuatan (tulangan) eksternal bergantung pada properti bahan penyusun dan perilaku komposit saat mendukung beban. Pembatasan masalah yang digunakan dalam penelitian adalah:

- 1) Mutu beton yang dipergunakan adalah beton normal
- 2) Perilaku yang ditinjau dalam penelitian ini adalah perilaku lentur.
- 3) Lekatan antara baja kanal C dan beton di setiap titik kontak dianggap sama.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah :

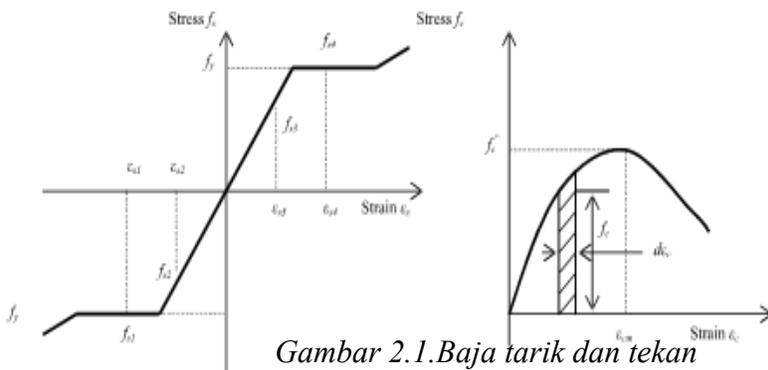
- 1) Mempelajari perilaku struktur balok beton menggunakan lips channel
- 2) Memberikan respon bebas perpindahan
- 3) Seberapa besar pengaruh Lips channel terhadap kapasitas penampang
- 4) Melakukan inovasi pada struktur beton bertulang

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Material

2.1.1 Material Baja

Baja memiliki kuat tarik 100 kali dari nilai kuat tarik beton (McCormac, Jack C., 2001). Sifat fisik lain dari baja yang menguntungkan yakni daktilitas relatif lebih tinggi dan memiliki tegangan residu (Spacone, E. dan El-Tawil, S., 2004), berat relatif ringan dibanding dengan kekuatannya, serta mudah dirangkai. Sifat fisik tersebut sebagai dasar pertimbangan untuk menggabungkan baja dan beton agar berkualitas lebih baik, lebih efektif dalam elemen struktur yang mendukung beban tarik (Sabnis M. Gajanan, 1979), tahan terhadap retak, dan tidak getas (Zhang, Jun, Leung, Christopher K.Y., Cheung Yin Nee, 2006). Penggabungan baja dan beton dikenal dengan nama komposit atau campuran atau *hybrid* (Spacone, E. dan El-Tawil, S., 2004). Komposit telah dikenal sejak awal peradaban di Mesir, yaitu pemakaian serat rambut kuda dalam bata (Toledo F.R.D., et al., 1999), serat dalam bahan bangunan untuk permukiman di Cina (Li, 2002), serat dalam beton (Naaman, et.al,1991; Suhendro, 1991; Balaguru dan Sah, 1992; Bentur, 1996; Toledo F.R.D., et al., 1999; Li, 2002; Widjaja A., 2003), beton bertulang (Park, R. dan Pauley, T., 1975), komposit baja profil dengan plat lantai beton beralas plat baja, balok atau kolom beton dengan perkuatan baja profil di dalamnya, beton berselimut pipa baja atau *concrete filled steel tubes*-CFST (Tong, 1994, Gourley et al., 2001, Varma, et al., 2003, Samhal, E., 2005, Muslikh, 2005, Kim Young-Ho, *et. al.*, 2006), dan beton *hybrid* lainnya.



Gambar 2.1. Baja tarik dan tekan

2.1.2 Material Beton

Beton menurut Besari, M.S. (2008) adalah gabungan berbagai material yang disatukan oleh media perekat, material pengisi terdiri atas agregat halus, agregat kasar, dan bahan tambah. Beton dipilih sebagai bahan struktur bangunan sipil, seperti jembatan, jalan raya, terowongan, waduk, bangunan bertingkat rendah maupun tinggi, pelabuhan laut atau udara, dan berbagai bangunan lainnya; Karena bahan beton mudah didapatkan, dibentuk sesuai dengan rencana (Abadjieva T., 2005), awet, murah, masiv, dan kaku (Griffis, 1992 dalam Spacone, E. dan El-Tawil, S., 2004). Beton mempunyai kekuatan tekan dan kekakuan yang baik (Spacone, E. dan El-Tawil, S., 2004), tetapi tidak mampu menahan tarik dan getas (Mahasneh Bassam Z. dan Gharaibeh Emhaidy S., 2005; ACI Committee 446, 2006).

2.2. Struktur Beton Bertulang

2.2.1. Struktur Beton Bertulang Konvensional

➤ Tegangan dan Regangan Beton

Tegangan didefinisikan sebagai tahanan terhadap gaya-gaya luar. Intensitas gaya yaitu gaya per satuan luas disebut tegangan dan diberi notasi huruf Yunani “ σ ” (*sigma*). Gaya P yang bekerja tegak-lurus (normal) pada penampang melintang *a-a* ini secara aktual merupakan resultan distribusi gaya-gaya yang bekerja pada penampang melintang dengan arah normal.

Dengan mengasumsikan bahwa tegangan terbagi rata di seluruh penampang, kita dapat melihat bahwa resultannya harus sama dengan intensitas σ dikalikan dengan luas penampang A. Dengan demikian didapatkan rumus :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.10)$$

dimana :

σ = tegangan (N/mm²)

P = gaya aksial (N)

A = luas penampang (mm²)

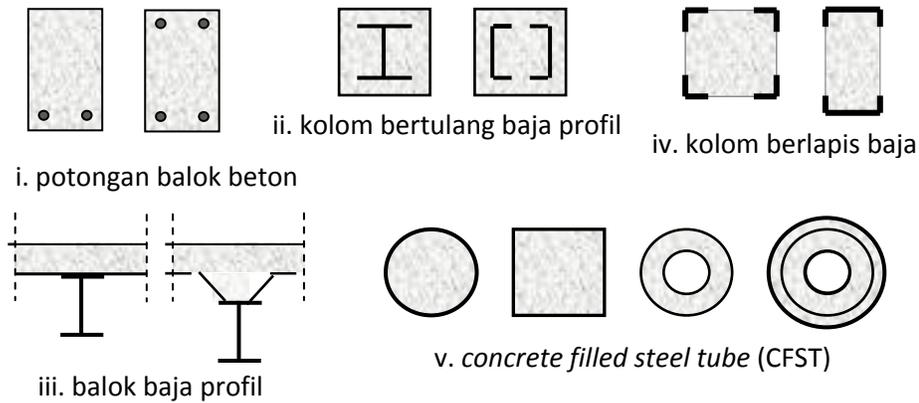
2.2.2. Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas atau modulus Young merupakan ukuran kekakuan suatu material. Semakin besar harga modulus ini maka semakin kecil regangan elastis yang terjadi pada suatu tingkat pembebanan tertentu, atau dapat dikatakan material tersebut semakin kaku (*stiff*). Pada grafik tegangan-regangan (Gambar 2.3.), modulus kekakuan tersebut dapat dihitung dari slope kemiringan garis elastis yang linier, diberikan oleh :

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ atau } E = \tan \alpha \quad (2.12)$$

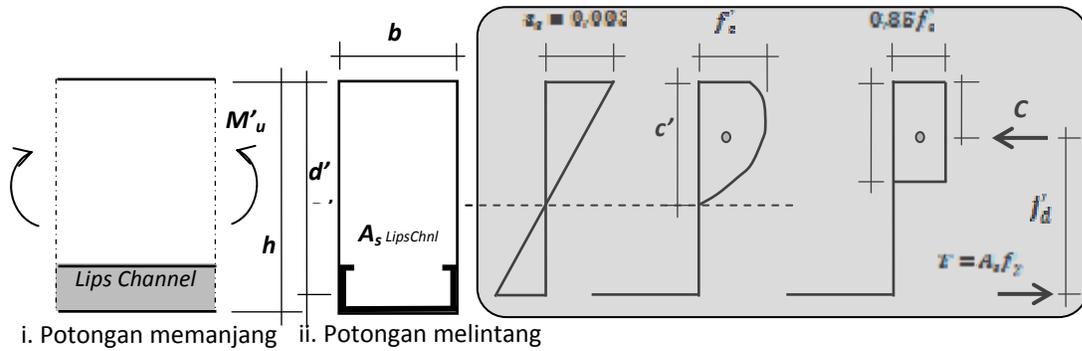
dimana σ adalah tegangan aksial searah sumbu benda uji, ϵ adalah regangan aksial, α adalah sudut yang dibentuk oleh daerah elastis kurva tegangan-regangan dan E adalah konstanta proporsionalitas yang dikenal dengan modulus elastisitas bahan tersebut. Modulus elastisitas suatu material ditentukan oleh energi ikat antar atom-atom, sehingga besarnya nilai modulus ini tidak dapat dirubah oleh suatu proses tanpa merubah struktur bahan. Modulus elastisitas adalah kemiringan kurva tegangan-regangan di dalam daerah elastis linier pada sekitar 40% beban puncak (*ultimate load*) (Gere, Timoshenko, 1997).

Modulus elastisitas beton memiliki nilai yang bervariasi tergantung dari beberapa faktor, diantaranya adalah kuat tekan beton. Makin tinggi kuat tekannya maka modulus elastisitasnya juga makin besar, dimana perubahan panjang yang terjadi akibat pembebanan tekan akan makin kecil. Hal ini disebabkan kondisi beton makin keras sehingga dengan energi yang sama akan dihasilkan pemendekan dan regangan yang lebih kecil bila dibandingkan beton yang kuat tekannya kecil (Sukoyo, 2008).



Gambar 2.4. Potongan komposit struktur (Tong, 1994; Samhal, E., 2005)

Nilai modulus elastisitas baja, $E_s = 200 \text{ GPa}$ (200.000 N/mm^2), nilai ini kira-kira 8 kali lebih besar daripada nilai modulus elastisitas beton normal, $E_c = 24 \text{ GPa}$ (24.000 N/mm^2) untuk beton normal dengan $f'_c = 35 \text{ MPa}$ (ACI Innovation Task Group 3 dalam MCP, 2006). Nilai regangan baja tulangan, $\epsilon_s = 0,01$ lima kali lebih besar daripada regangan beton, $\epsilon_c = 0,002$ (Park R. dan Paulay T., 1975). Baja *lips channel* yang berfungsi juga sebagai pengekang pada selimut beton dapat mengurangi terjadinya *spalling* pada selimut beton saat regangan beton mencapai regangan hancurnya (McCormac Jack C., 2004). Nilai gaya tarik (T) dan nilai lekatan permukaan baja tulangan eksternal (profil *C lips channel*) di sisi bawah lebih besar daripada baja tulangan batang dengan luas tampang bulat, karena luasan relatif lebih besar. Kemudian jarak baja tulangan dengan garis netral balok beton bertulangan eksternal (Gambar 2.2.) lebih besar daripada balok beton bertulangan baja (Gambar 2.4.). Dengan demikian momen kopel yang dihasilkan oleh perkalian gaya dan jarak pada balok beton bertulangan eksternal (Gambar 2.5.) lebih besar daripada balok beton bertulangan biasa (Gambar 2.5.).



Gambar 2.5. Usulan diagram tegangan balok beton dengan *Lips Channel*

Beton dengan perkuatan rangkaian baja tulangan di dalamnya dapat dibentuk sesuai fungsi elemen struktur, seperti plat, balok, kolom, dan lainnya. Balok beton bertulang yang mendukung beban lebih akan mengalami keruntuhan. Pencegahan runtuh dapat dilakukan meningkatkan daya dukungnya. Peningkatan daya dukung dilakukan dengan cara:

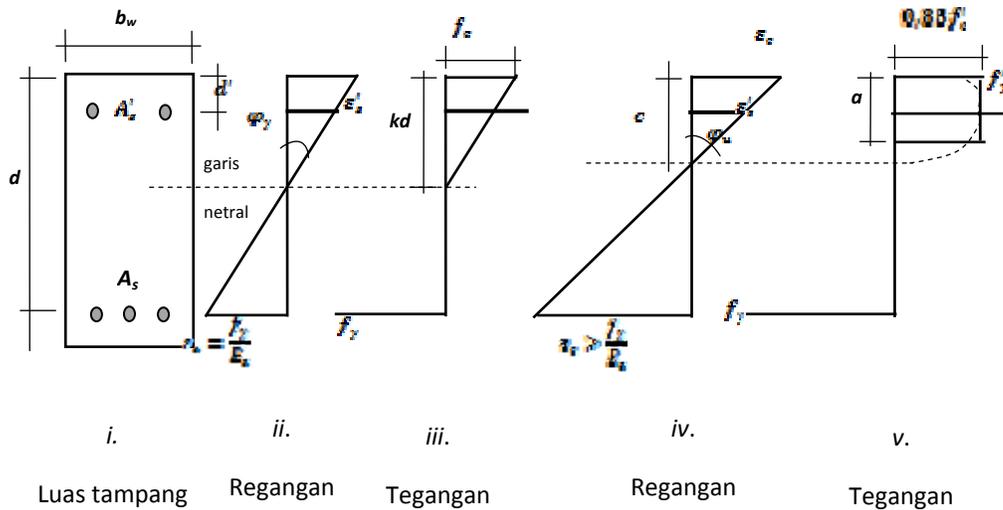
1. Memperbesar dimensi balok beton, tetapi berat sendiri balok meningkat juga; Berat sendiri yang besar menyebabkan gaya gempa yang diterima oleh struktur meningkat, sebagaimana
- 2.

$$V = \frac{CF}{R} W_T \quad (2.1)$$

- V : gaya geser dasar gempa,
- C : faktor respons gempa,
- I : faktor keutamaan bangunan,
- R : waktu getar alami,
- W_T : berat total gedung (SNI-1726-2002).

3. Meningkatkan mutu beton, beton mutu tinggi memiliki kuat tekan lebih besar dan kekakuan lebih besar (Colaco, J. P., 1985 dalam ACI MCP 2006), tetapi getas (ACI MCP 2006).
4. Menambahkan jumlah tulangan pokok atau tulangan longitudinal. Jika terlalu banyak akan memperkecil jarak tulangan. Jarak antar tulangan yang kecil mengakibatkan susunan tulangan menjadi dua lapis atau lebih, sehingga jarak (d) titik berat tulangan pada serat tarik

dengan tepi serat tekan semakin kecil. Nilai d yang kecil menyebabkan nilai momen, M_n kecil. Selain itu tebal selimut beton berkurang, dikhawatirkan terkelupas atau *spalling* (Cusson dan Paultre, 1993 dalam Muslikh, 2005; ACI-MCP, 2006), karena regangan beton terlampaui (Nuroji, 2008).

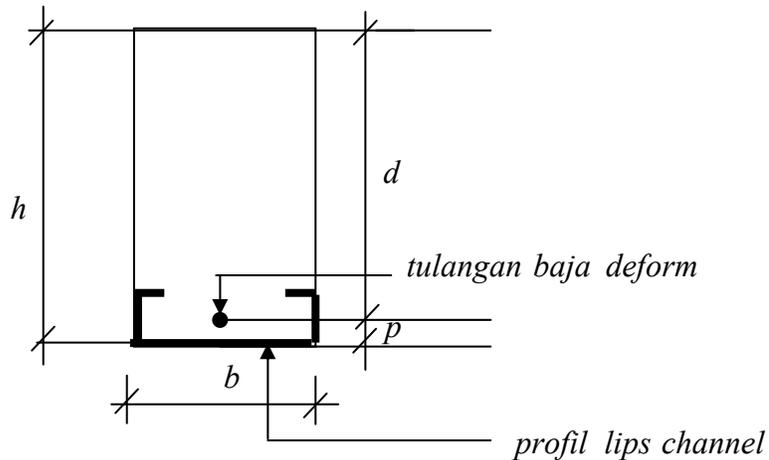


i. Saat leleh pertama

ii. Saat ultimit

Gambar 2.6. Penampang balok bertulangan rangkap yang menerima beban lentur (Park R. dan Paulay T., 1975:204)

Profil *lips channel* dipasang pada penampang tarik balok atau bagian bawah sehingga tinggi profil (h_w) menjadi lebar balok (b). Pada titik berat profil dipasang pula tulangan baja deform yang berfungsi seperti beton konvensional sebagai tulangan tarik, sehingga penampang balok dengan tulangan luar dapat dilihat seperti gambar di bawah :



Gambar 2.7. Penampang balok dengan profil lips channel sebagai tulangan luar.

Keterangan :

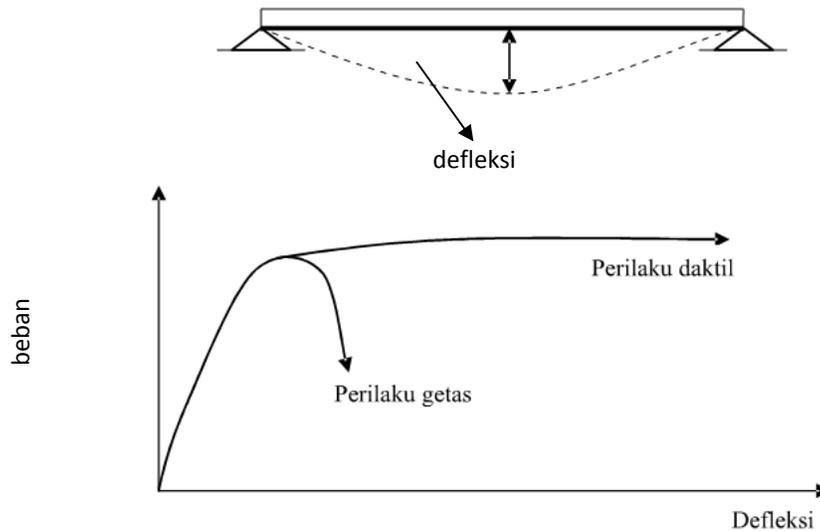
- h = tinggi total balok
- b = lebar balok = tinggi profil *lips channel*
- p = penutup beton = cy profil
- d = tinggi efektif beton

Jika pada suatu penampang balok diketahui f_c , f_y , b , d , ϵ_c dan ϵ_s , maka kekuatan momen tahanan dapat diperoleh dari penjabaran persamaan.

2.2.3. Momen Kurvatur

Perilaku defleksi akibat pembebanan pada balok beton bertulang dapat dilihat pada gambar berikut. Dari gambar ini dapat dilihat dengan jelas perilaku getas (*brittle*) dan liat (*ductile*).

beban

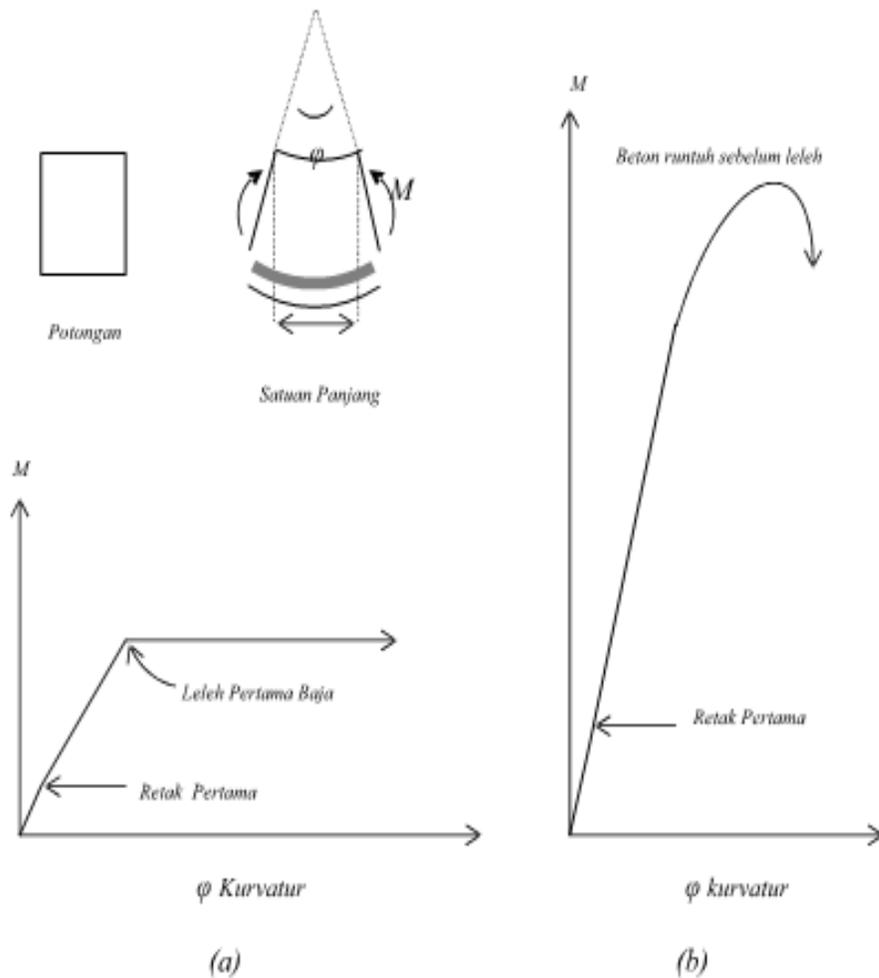


Gambar 2.10. Hubungan beban dan defleksi pada balok lentur

Jari-jari kurvatur R menuju garis netral, ketinggian garis netral, regangan beton pada serat tekan ekstrem, ϵ_c , dan regangan tarik baja, ϵ_s , akan berubah sepanjang elemen karena pada daerah retak akan terjadi tarik. Pada bagian kecil dari elemen, sepanjang dx , maka rotasi ke duaujung elemen adalah:

$$\frac{dx}{R} = \frac{\epsilon_c dx}{kd} = \frac{\epsilon_s dx}{d(1-k)}; \frac{1}{2} = \frac{\epsilon_c}{kd} = \frac{\epsilon_s}{d(1-k)} \quad (2.13)$$

Pada elemen dengan penulangan tunggal seperti Gambar 2.8.kurva $M-\phi$ yang dihasilkan linier sampai dengan baja mencapai leleh. Peningkatan kurvatur terjadi akibat momen lentur yang hampir konstan, kemudian momen meningkat ke maksimum selanjutnya menurun. Sedangkan pada gambar kanan (ii) untuk penulangan ganda, kurva $M-\phi$ menjadi non linier saat beton masuk pada daerah inelastik kurva tegangan-regangan. Kegagalan getas dapat terjadi bila tidak ada pengekangan. Beton hancur saat kurvatur relatif kecil, sebelum baja leleh, momen kapasitas menurun dengan cepat.



Gambar 2.12. Hubungan Momen Kurvatur pada balok bertulangan tunggal

a. elemen lemah karena tarik, $\rho < \rho_b$

b. elemen lemah karena tarik, $\rho < \rho_b$

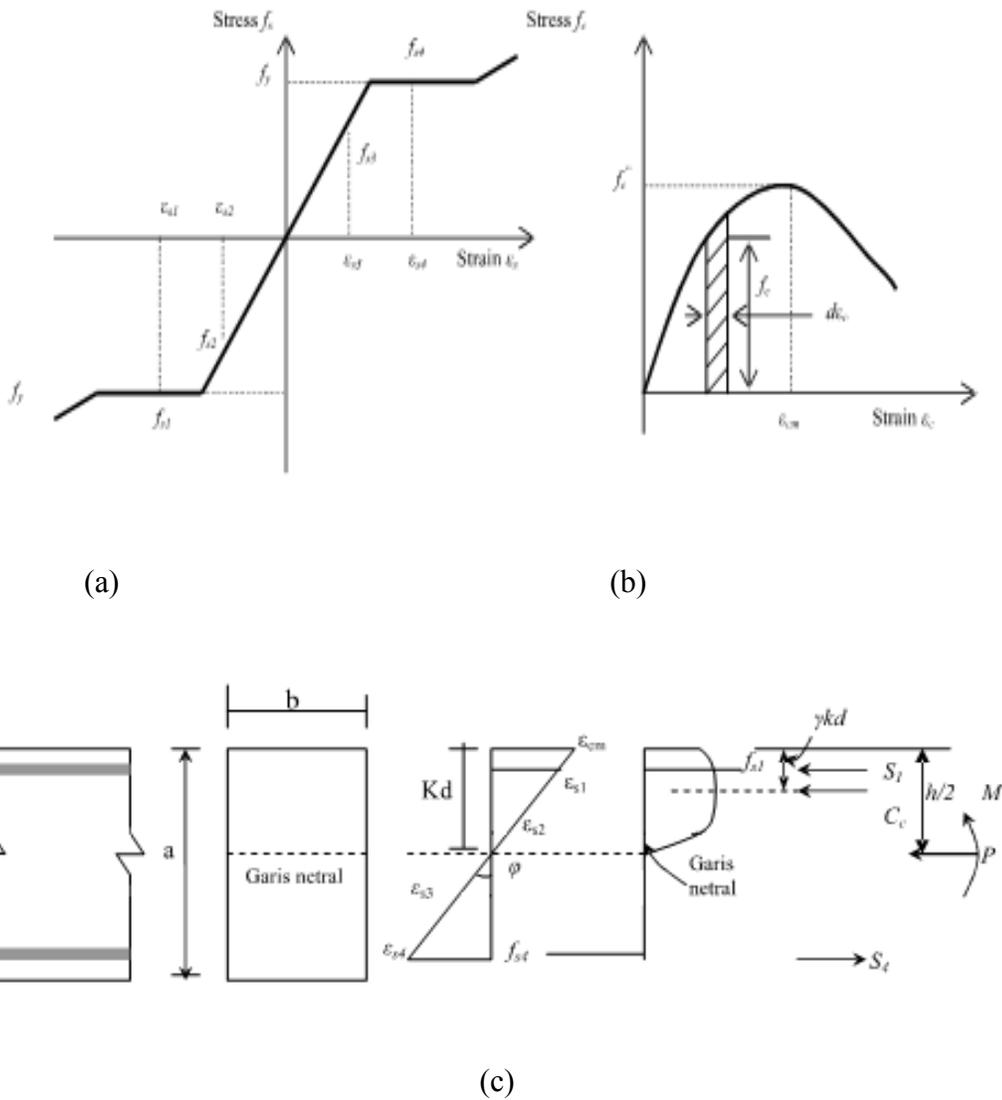
Penentuan momen-kurvatur teoritis diasumsikan dengan elemen datar sebelum terjadi lentur dan setelah lentur, kurva tegangan-regangan baja dan beton telah ditentukan sebelumnya. Gambar di bawah (a) dan (b) memperlihatkan kurva tegangan-regangan tipikal untuk baja dan beton, selanjutnya gambar (c) menunjukkan elemen balok beton bertulang dengan beban aksial dan lentur. Distribusi tegangan beton sisi atas bagian tertekan (gambar c) diperoleh dan diagram

regangan dan kurva tegangan-regangan beton.

Regangan beton, ϵ_{cm} , di sembarang serat tertekan ekstrem akibat gaya tekan beton G yang letaknya ditentukan oleh parameter α dan y . Besar gaya C_c adalah:

$$C_c = \alpha f'_c bkd \quad (2.17)$$

Jarak gaya dengan garis netral ykd ,



Gambar 2.13. Penentuan Momen-Kurvatur

a. Baja tarik dan tekan

b. Beton tekan

c. Potongan dengan regangan, tegangan, dan distribusi gaya

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini ialah metode eksperimen, yang berarti mengadakan suatu percobaan untuk mendapatkan suatu hasil yang menegaskan hubungan antara variable - variable yang diselidiki.

3.1 Tahapan Penelitian

3.1.1 Tahap Persiapan

Pada tahap ini, seluruh bahan dan peralatan yang digunakan dipersiapkan terlebih dahulu agar percobaan dapat berjalan dengan lancar, termasuk penyediaan bahan penelitian dan studi literatur yang dijadikan acuan dan dasar dalam melakukan percobaan.

Pada tahap persiapan dilakukan langkah – langkah sebagai berikut :

1. Pemeriksaan agregat halus (pasir), meliputi :
Uji dan analisis yang dilakukan sesuai SK SNI yaitu analisa saringan, kadar air asli, kadar air *Saturated Surface Dry* (SSD), kadar lumpur, berat isi asli dan SSD, berat jenis asli dan SSD
2. Pemeriksaan agregat kasar (kerikil), meliputi :
Uji dan analisis yang dilakukan sesuai SK SNI yaitu analisa saringan, kadar air asli, kadar air *Saturated Surface Dry* (SSD), kadar lumpur, berat isi asli dan SSD, berat jenis asli dan SSD
3. Baja
Bahan yang dipakai terdiri atas jenis *lips channel* 125 50 20 tebal 1,44 mm, dan baja tulangan beton ulir diameter 10 mm (D 10).
4. Pemeriksaan semen, meliputi :
Uji dan analisis yang dilakukan sesuai SK SNI yaitu analisis berat jenis semen, konsistensi normal, dan pengikatan awal

5. Mix Design dengan metode DOE dalam hal ini untuk menghadapi slip dipasang stud baut, setelah semua data yang diperlukan pada pemeriksaan bahan campuran diperoleh.

3.1.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- 1) Cetakan benda uji, dipergunakan untuk membentuk beton segar menjadi beton padat sebagai benda uji. Ukuran silinder berdiameter, 150 mm tinggi 300 mm sesuai standar ASTM no C39. Cetakan balok 1800x185x120 mm³, dari papan kayu.

- 2) *Straingauge*, untuk logam, dan untuk beton.

Strain gauges berfungsi untuk mengetahui regangan yang terjadi.

- 3) *Linear Variabel Displacement Tranduser (LVDT)*

Untuk mengetahui nilai penurunan (lendutan) akibat beban.

- 4) *Computer Control Servo Hydraulic Concrete Compression Testing Machine* merek Hung Ta Instrumen Co Ltd. HT-8391 PC

Alat ini untuk mengetahui nilai kuat tekan beton

- 5) *Universal Testing Machine (UTM)* merek Hung Ta HT-EH 2101

- 6) *Data Logger* Merek Schumy *Data Logger TML*, Type S-2251

Alat untuk mengubah nilai tekanan hidrolik ke bentuk digital, dilengkapi dengan silinder konversi (*loadcell*) yang terpasang di alat uji.

- 7) *Hydrolic Jack*

Alat ini dipakai untuk memberikan beban pada benda uji. Untuk mengukur beban itu diperlukan *load cell* melalui *tranducer* sehingga dapat dibaca secara *digital*.

8) *Loading Frame*

Loading frame dimaksudkan sebagai tempat meletakkan alat-alat yang akan digunakan. *Loading frame* dibuat dari baja IWF 450 x 200 yang dirangkai sedemikian rupa dan merupakan konstruksi yang kuat, kokoh dan stabil. Rangkaian *loading frame* haruslah diikatkan dengan baik pada *rigid floor*.

3.2 Tahap Pelaksanaan

1. Pekerjaan Persiapan

Tahapan ini meliputi penyediaan bahan dan mempersiapkan peralatan untuk penelitian, untuk mendukung penelitian ini juga dilakukan studi pustaka dengan mengumpulkan literatur yang relevan.

2. Proporsi campuran beton

Proporsi campuran beton dengan perbandingan berat 1 semen portland : 1,14 pasir : 1,77 kerikil pecah mesin dan 0,3881 air. Jenis semen *Pozzolan Portland Cement* (PPC). Agregat halus dari sungai Krasak di Muntilan Kabupaten Magelang Kemudian kerikil jenis pecah mesin berdiameter 5 mm sampai 10 mm dan 10 mm sampai 20 mm, dengan perbandingan 40% : 60%. Air bersih yang diperoleh dari saluran air bersih di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Jumlah bahan yang disediakan untuk 1 balok dan 3 silinder adalah 33,97 kg semen, 38,58 kg agregat halus, 60,22 kg agregat kasar, dan 13,17 kg air .

3. Pemeriksaan baja

Pemeriksaan baja yang dilakukan pada baja jenis *lips channel* 125 50 20 tebal 1,44 mm yaitu untuk mengetahui kuat tariknya. Pada alat yang sama, dilakukan juga pengujian tarik baja tulangan beton ulir D-10.

4. Pemeriksaan beton

a. *Workability*

Pemeriksaan ini dilakukan pada beton basah, saat beberapa menit dalam ruang pencampur yang digerakkan oleh mesin. Alat yang dipergunakan untuk mengetahui nilai *slump* atau nilai kelecakan beton basah adalah kerucut terpancung dan tongkat penusuk, yang masing-masing terbuat dari logam.

b. Kuat tekan beton

Pengujian tekan dilakukan pada silinder beton setelah 28 hari dirawat atau direndam dalam kolam air, tanpa mengukur pH air. Pengujian yang dilaksanakan yaitu uji tekan silinder beton untuk mengetahui mutu beton dengan mesin tes tekan beton.

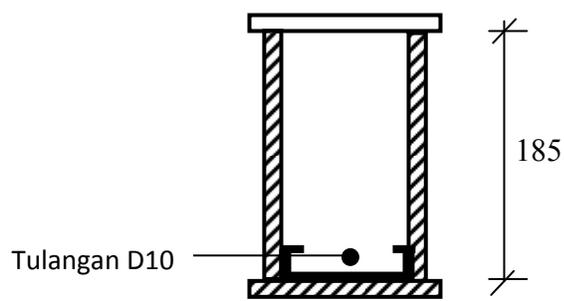
5. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji balok dimulai dengan pembuatan bekisting sekaligus dirakit dengan tulangan profil baja, sedangkan pada titik berat profil dipasang tulang D10. Benda uji dibuat bentuk persegi dengan lebar 125 mm dan tinggi 185 mm, serta panjang 1800 mm. Ukuran lebar diambil 125 mm karena tulangan luar yang dipakai adalah profil baja *lips channel* 125 x 50 x 20.

Beton dibuat dengan mesin pengaduk beton sesuai dengan perhitungan campuran yang telah direncanakan, kemudian dilakukan pengecoran.

Benda uji dibuat dua tipe :

Balok dengan tulangan tunggal, dimana profil *lips channel* diletakkan bagian tarik balok.



Gambar 3.2. Desain pemasangan strain gauge dan LVDT

7. Setting Pengujian Balok

Balok beton bertulang ditumpu dengan perletakan sederhana (sendi-rol) yang diuji dengan memberikan beban statik. Pembebanan dilakukan di dua titik dengan jarak 500 mm antara titik pembebanan dan sejauh 600 mm dari tumpuan.

Pengukuran regangan pada benda uji dilakukan dengan memasang *straingauge* di bagian-bagian tertentu pada beton dan tulangan.

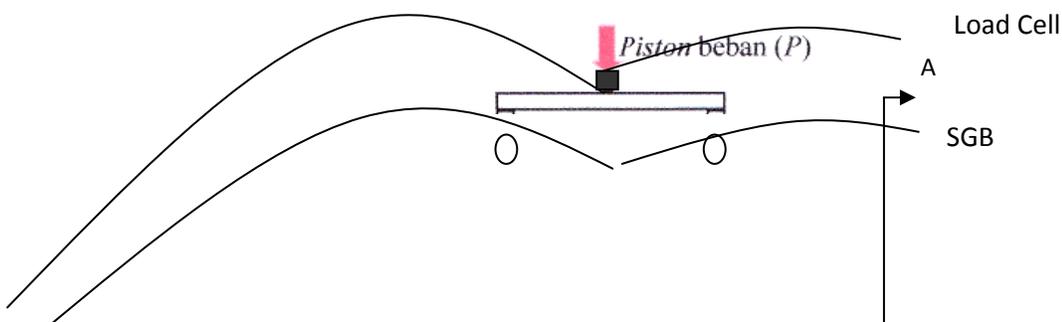
LVDT (*Linear Variable Displacement Transducer*) untuk mengukur reagnan, dipasang pada bagian tengah balok uji. Kemudian kabel-kabel dari *straingauge* dihubungkan ke data *logger* untuk pembacaan data.

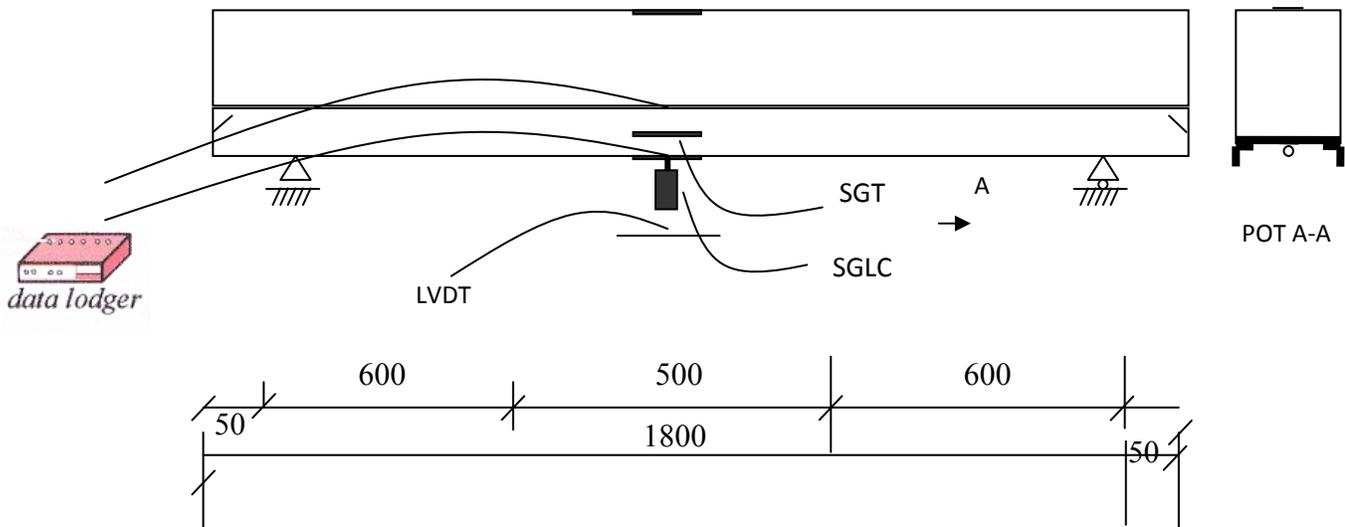
Pembebanan akan dihentikan bila balok uji sudah mengalami runtuh.

Hal-hal yang perlu diamati pada pengujian ini adalah :

- Besarnya beban pada saat runtuh
- Regangan pada beton dan tulangan baja
- Kapasitas lentur balok
- Momen-kurvatur

Setting alat dan pembebanan benda uji balok beton bertulang dapat dilihat pada gambar 3.3.





Gambar 3.3. Set up Pengujian

- 1). Pengujian bahan beton, seperti pasir, kerikil, semen, dan bahan tambah.
- 2). Rancangan *mix design* beton berdasarkan SNI
- 3). Pembuatan bahan beton
- 4). Pembuatan spesimen balok beton bertulangan eksternal *lips channel* dengan penambahan 5 stud di tumpuan sebelah kiri dan 5 stud disebelah kanan
- 5). Pengujian lentur spesimen balok beton bertulangan eksternal *lips channel*
- 6). Analisis model balok dengan program bantu

3.2.1 Pengumpulan data

Inventarisasi data yang pertama adalah bahan pembentuk beton yaitu baja dan beton. Untuk baja (*lips channel* dan baja *de form*) data yang diharapkan adalah mutu baja (f_y) modulus elastisitas (E_s). Demikian pula untuk beton data yang diharapkan adalah mutu beton (f'_c) dan nilai *slump* pada saat pembuatan beton.

Data yang diharapkan adalah nilai beban dan nilai regangan dari *strain gauge* yang dipasang pada beton dan baja *lips channel*. Pemberian beban dilaksanakan melalui *piston*

hydraulic jack dengan pembacaan beban dari 0 kN sampai dengan balok beton runtuh. Data lain yang diperlukan adalah posisi retak yang ditandai, serta pembacaan nilai beban saat muncul retak.

3.3 Analisis Data

Data yang diperoleh dari pengujian balok lentur adalah dari data *logger* yaitu nilai beban dan nilai regangan.

P = beban

ϵ_{s1} = regangan pada *lips channel* bawah

ϵ_{s2} = regangan pada baja *de form*

ϵ_c = regangan pada beton

ϕ = kurvatur = $\frac{\epsilon_{s2} + \epsilon_c}{d}$

M = momen = $\frac{P \cdot a}{2}$

Dari data ini kemudian disusun pada table dan dibuat grafik yang menggambarkan hubungan antara :

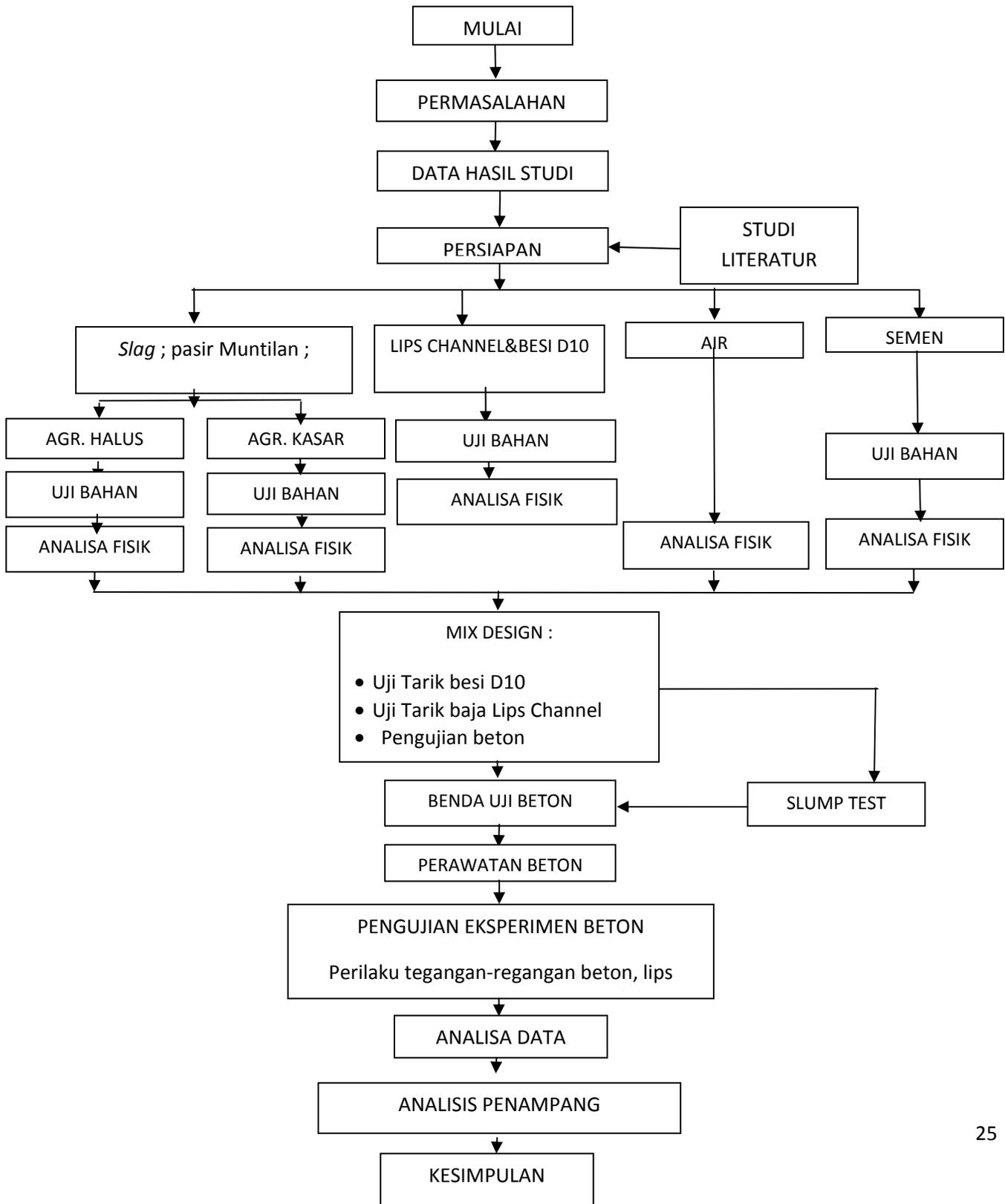
1. Momen dan regangan (P dan ϵ)
2. Momen dan kurvatur (M dan ϕ)

Analisa balok secara eksperimen kemudian dibandingkan dengan analisa balok secara teoritis. Untuk melengkapi data disajikan pula hasil pengamatan retak akibat pembebanan.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Penelitian yang dilakukan memiliki alur kegiatan seperti berikut :

(Gambar 3.4. Diagram alir kegiatan)



BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Tarik Baja

Hasil pengujian tarik baja pada spesimen *lips channel* sisi badan menunjukkan bahwa mutu baja $f_y=215,35$ MPa, dan pada bagian sayap $f_y=184,07$ MPa. Mutu baja f_y rata-rata adalah 199,71MPa. Modulus elastisitas baja $E_s = 200.000$ Mpa dengan regangan $\epsilon_y = 0,00099$. Luas total baja lipschannel 120.35.20 adalah 286,7 mm².

Tabel 4.1. Hasil pengujian tarik *Lips cahnnel*

Kode	tebal (mm)	lebar (mm)	panjang (mm)	Lo (mm)	ΔLu (mm)	Elongation (%)	F_{yield} (kN)	F_{max} (kN)	σ_{yield} N/mm ²	σ_{max} N/mm ²
sayap	1,44	10,09	26,5	92,01	0,92	1,00	2674,42	3441,77	184,07	236,88
badan	1,44	9,98	26,5	80,25	1,07	1,33	3094,84	4475,68	215,35	311,43

Pengujian geometrik baja tulangan beton ulir D-10 menunjukkan bahwa berat per meter 0,510 kg, diameter pengenal 9,10 mm, tegangan tarik baja, $f_y=457,65$ MPa. Modulus elastisitas baja $E_s = 200.000$ Mpa dan regangan $\epsilon_y = 0,00228$.

Tabel 4.2. Hasil pengujian tarik baja tulangan beton ulir D-10

Berat kg/m	Diameter mm	Diameter pengujian	Lo mm	ΔLu Mm	Elongation %	F_{yield} kN	F_{max} kN	σ_{yield} N/mm ²	σ_{max} N/mm ²
------------	-------------	--------------------	-------	----------------	--------------	----------------	--------------	------------------------------------	----------------------------------

		mm							
0,51	9,10	5,92	30,6	0,4	1,57	12601,9	16684,0	457,05	605,89
0			2	8		7	1		

4.2. Komposisi Bahan Beton dan Slump

Pencampuran bahan beton dengan perbandingan berat 1,00 semen *portland* :1,14 pasir: 1,77 kerikil dan 0,388 air. Bahan penyusun yang dicampurkan untuk pencetakan 3 spesimen kubus dan 1 balok yaitu 33,97 kg semen *portland* merek Semen Gresik, 38,58 kg agregat halus dari sungai Krasak di Muntilan Kabupaten Magelang, 60,22 kg agregat kasar pecah mesin, dan 13,17 lt air, nilai faktor air semen adalah 0,52. Nilai slump pada beton segar adalah 11 cm.

4.3. Pengujian Tekan Silinder Beton

Nilai pengujian tekan dari tiga silinder beton menunjukkan bahwa mutu beton tergolong rata-rata f'_c 32,47 MPa. Masing-masing nilai kuat tekan dan berat adalah 31,72 MPa, 8,21 kg; 37,62 MPa, 8,28 kg; dan 35,41 MPa, 8,23 kg. Nilai rata-rata kuat tekan silinder beton sebesar 34,92 MPa.

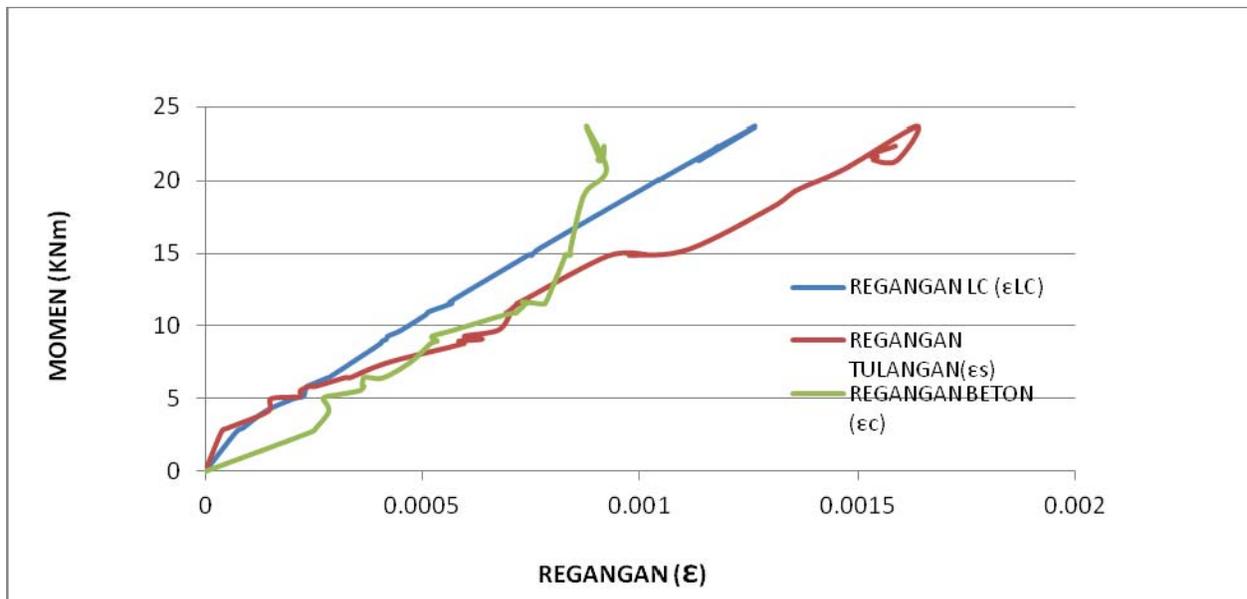
4.4. Perilaku Benda Uji

Berdasarkan hasil eksperimen di laboratorium Bahan dan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Undip didapatkan data tentang pembebanan, lendutan dan regangan. Sedangkan momen dan kurvature dihitung.

Kemudian dari data ini disajikan grafik hubungan antara beban dan lendutan, beban dan regangan, serta pengamatan secara visual pola retak pada benda uji atau balok. Selain itu disajikan pula hubungan antara momen dan kurvature (baik dari hasil eksperimen maupun analisa teoritis)..

4.4.1. Respon Balok Tulangan Lips Channel

1. Hubungan antara momen dan regangan (□)



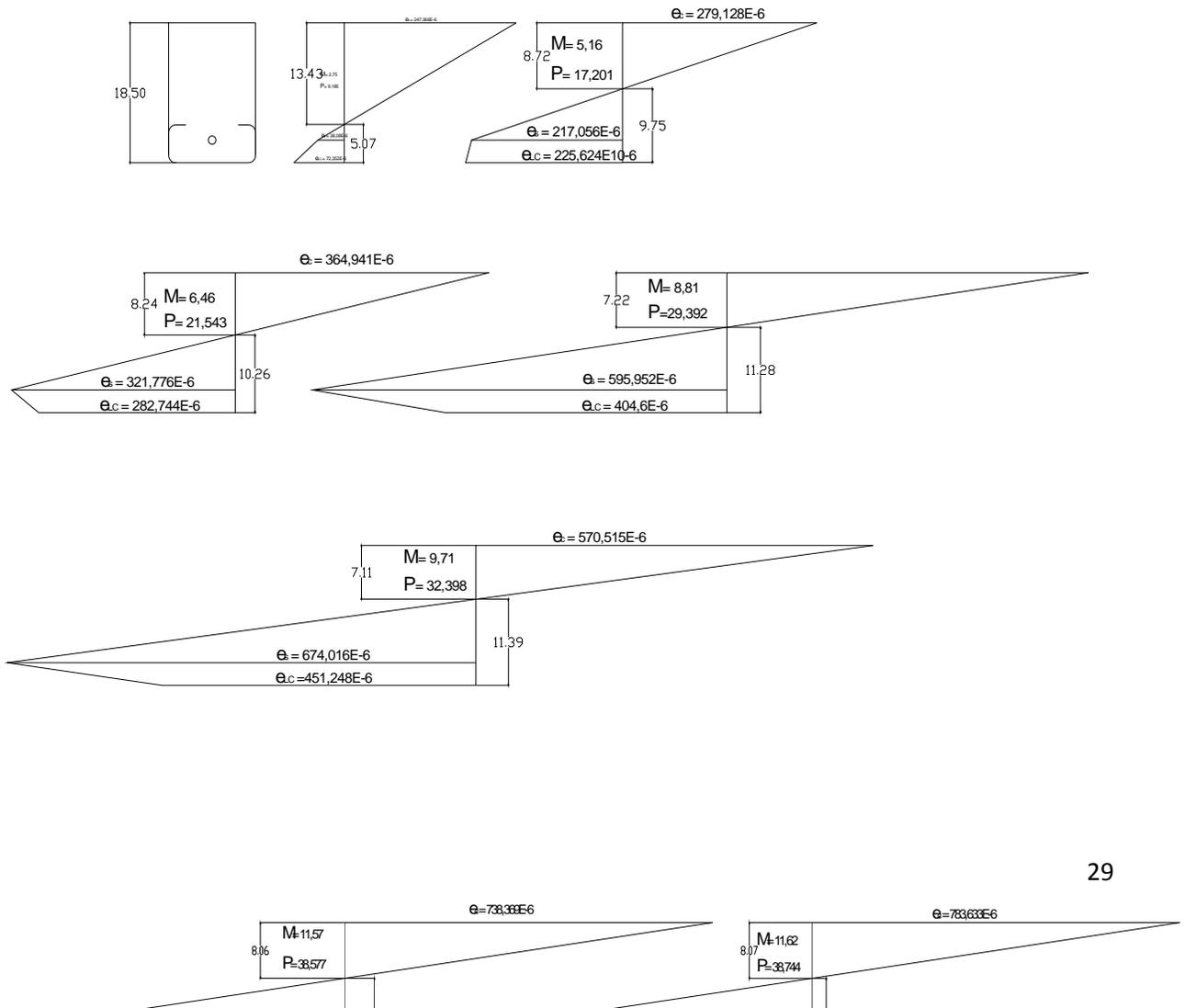
Gambar 4.1. Hubungan beban M (KNm) dan Regangan (□) mm

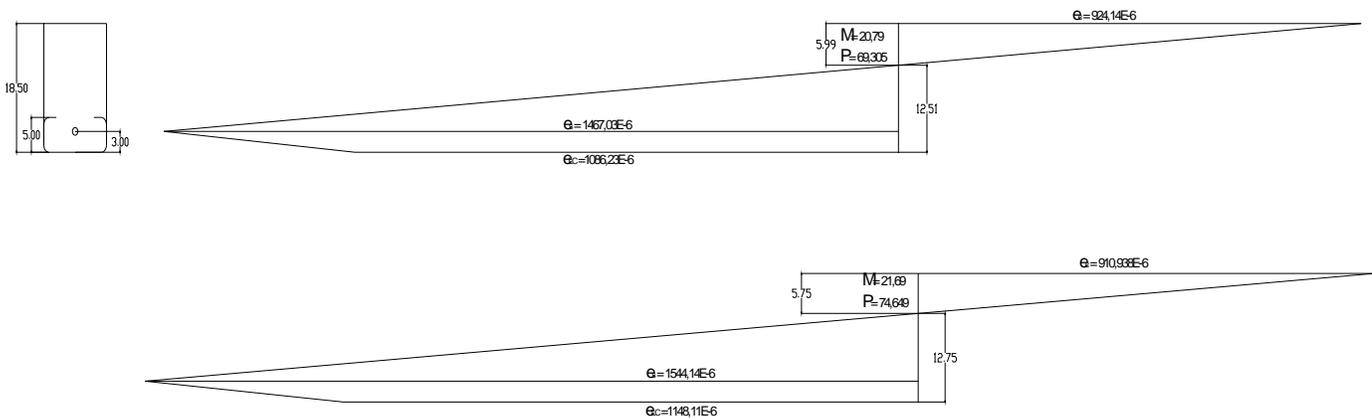
Pada gambar 4.1. di atas menunjukkan perilaku hubungan antara Momen dan Regangan pada benda uji balok. Pada saat momen mencapai 2,75kNm, regangan beton (□c)

mencapai 0,000247mm, regangan tulangan (ϵ_s) mencapai 0,000038mm, dan regangan lips channel (ϵ_{LC}) mencapai 0,000072mm (Lips channel belum mengalami slip).

Pada saat momen mencapai 6,46 kNm, regangan beton (ϵ_c) mencapai 0,00036 mm, regangan tulangan (ϵ_s) mencapai 0,00032 mm, dan regangan lips channel (ϵ_{LC}) mencapai 0,00028 mm (Lips channel sudah mengalami slip).

GAMBAR DIAGRAM REGANGAN BALOK AKIBAT MOMEN





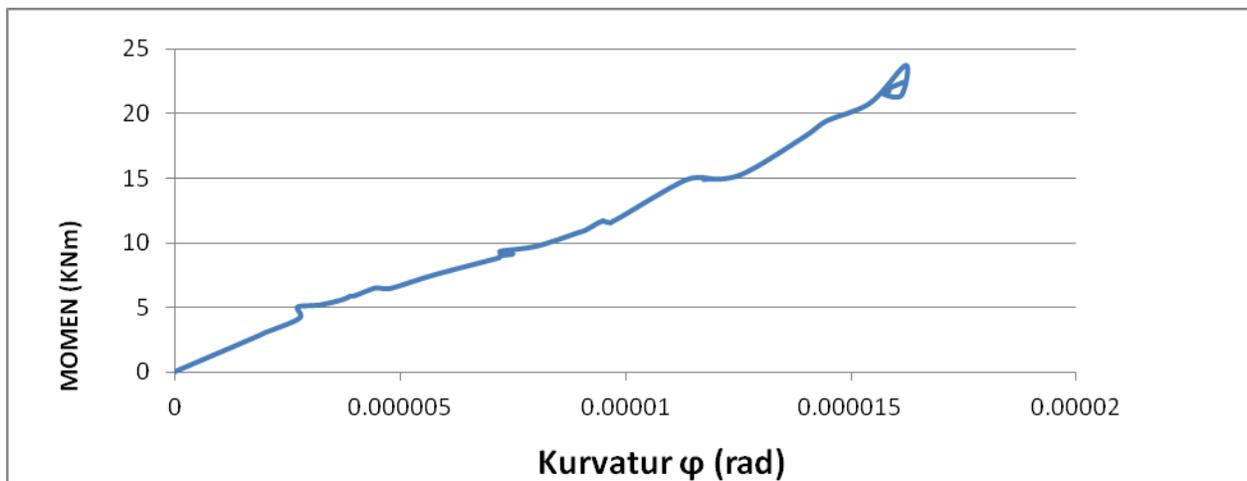
Gambar 4.2. Diagram regangan balok akibat momen

Dari diagram regangan dapat dianalisa kapan terjadinya slip antara beton dan lipschannel. Slip pertama kali terjadi pada saat beban mencapai 17,201 kN dan momen

mencapai 5,16 kNm yang seperti seperti terlihat pada gambar 4.2. Hal ini dibuktikan dengan nilai regangan yang terekam pada strain gage beton, tulangan, dan Lips channel yang tidak proporsional terhadap jarak atau tidak linear terhadap jarak.

2. Hubungan Momen dan Kurvature

Hubungan momen dan kurvature dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



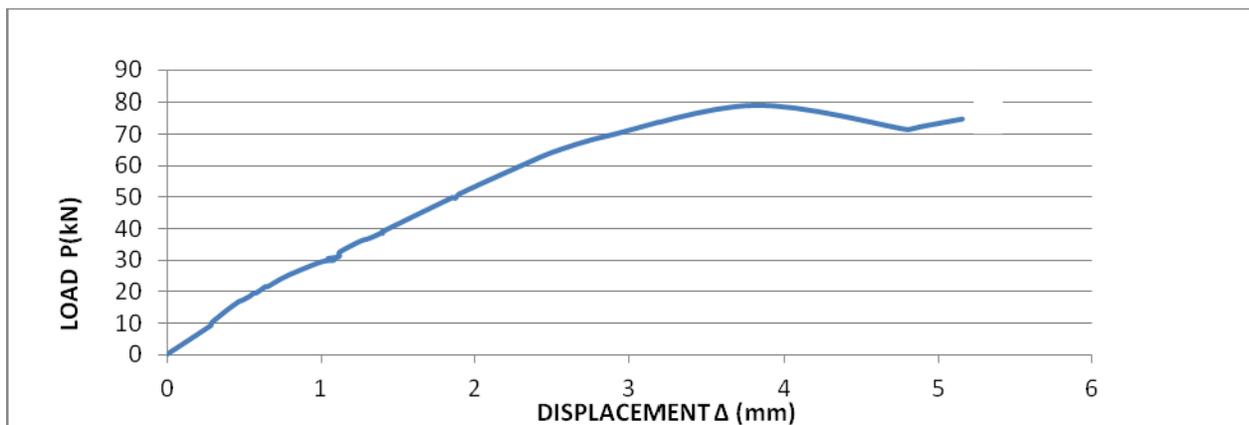
Gambar 4.3. Grafik hubungan antara Momen (kNm) dan Kurvature (ϕ rad)

Pada gambar di atas menunjukkan pada saat momen 2,75 kNm balok masih kaku, hal ini ditunjukkan pada nilai kurvature yang masih kecil yaitu $1,84 \times 10^{-6}$ ϕ rad.

Pada saat momen 20,79 kNm dengan nilai kuvature $1,54 \times 10^{-6} \phi$ rad, sementara nilai regangan pada lipschannel $\epsilon = 0,00108 > \epsilon_y = 0,001$. Data ini menunjukkan bahwa lipschannel sudah leleh. Kondisi ini mengakibatkan lekatan antara beton dan baja sudah berkurang.

3. Hubungan antara beban (P) dan Displacement (Δ)

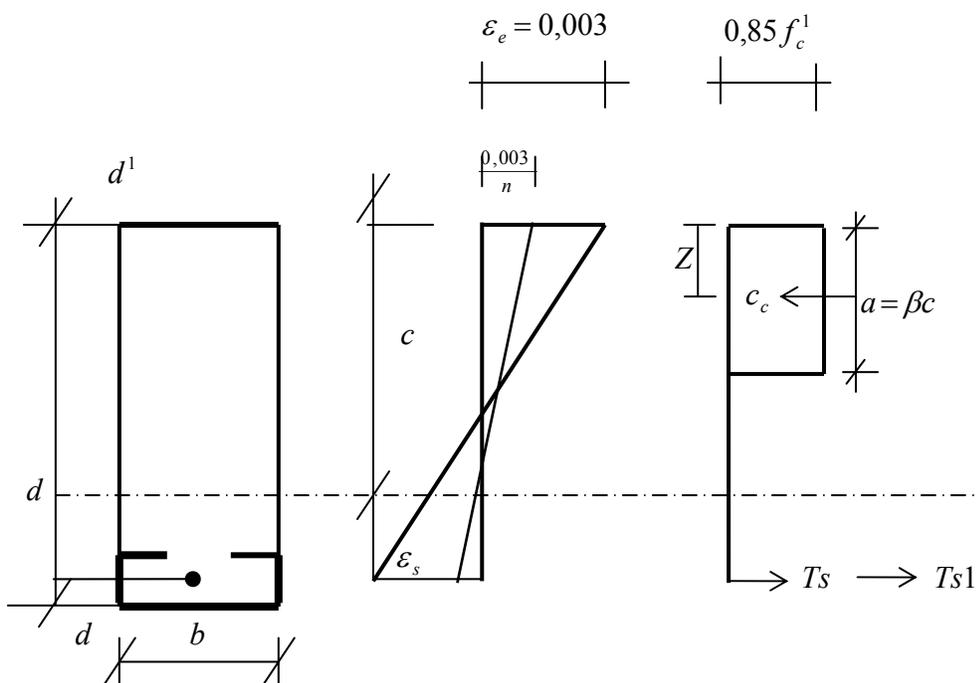
Hubungan beban dan displacement dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.4. Grafik Hubungan antara beban (kN) dan Displacement (mm)

Pada gambar 4.4. di atas menunjukkan perilaku hubungan antara beban dan displacement. Pada saat beban mencapai 9,185 kN balok masih kaku ditandai dengan geser yang masih kecil (0,285mm). Sampai pada beban 74,649 kN geser tercatat 5,155 mm. dan hal ini balok sudah mengalami keruntuhan.

4. Analisa keseimbangan balok sebelum ultimate



Misal $n= 20$, jadi $0,003/20 = 0,00015$

$\varepsilon_c = 0,00015$ di analisa dengan manggunakan trail and error ditemukan nilai $\varepsilon_s = 0,000105$

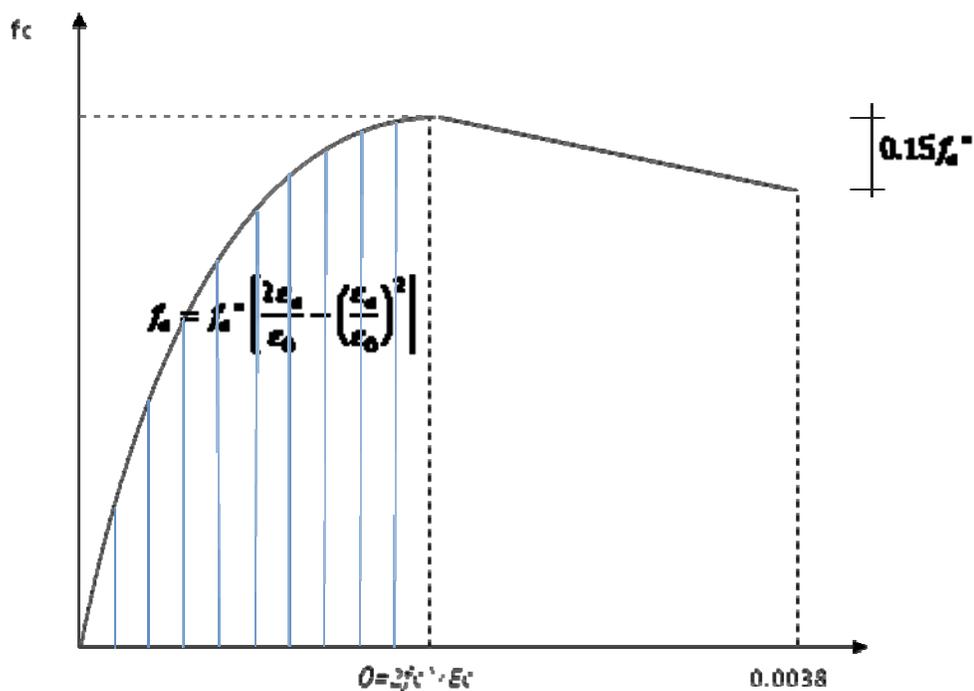
$\varepsilon_c = 0,00015$, $\varepsilon_s = 0,000105$

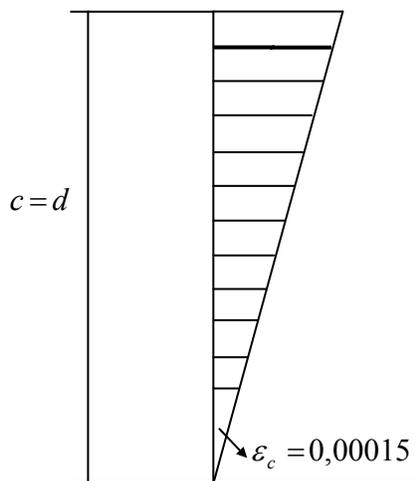
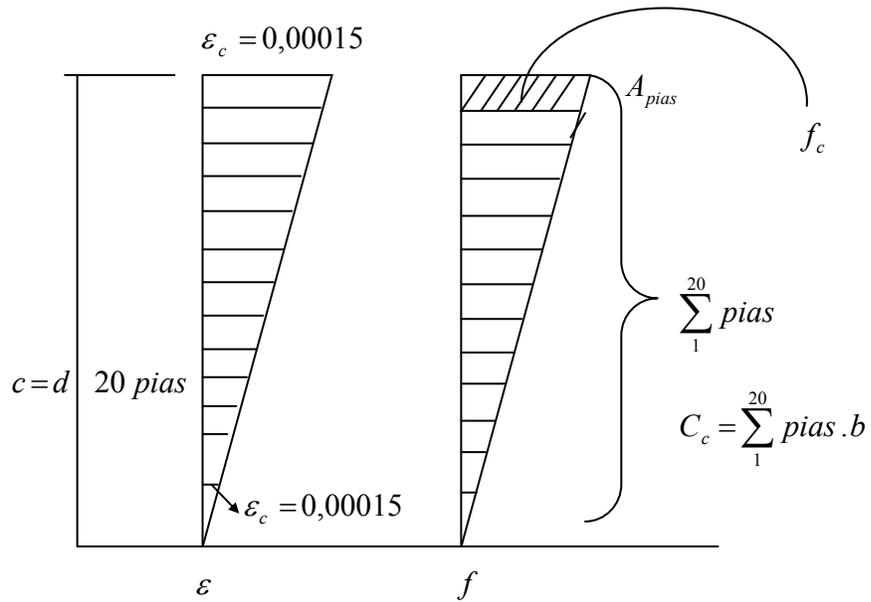
Nilai c dapat dicari

$$\frac{c}{0,00015} = \frac{155}{(0,00015 + 0,000105)}$$

$C = 91,17647$ mm

Menghitung Gaya Tekan Beton (C_c)





$$C_c - T_s - T_{s1} = 0$$

$$T_s = \varepsilon_s \cdot E_s \cdot A'_s$$

Apabila $\varepsilon_s = 0$ maka $T_s = 0$

$$\sum P = C_c - T_s - T_{s1}$$

$$\varepsilon_{co} = 2 \frac{f'_c}{E_c}$$

$$f_c = f'_c \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} \right)^2 \right]$$

$$C_c = \frac{\varepsilon_c c b f'_c}{\varepsilon_{co}} \quad C_c \text{ diperoleh } 23266.04229 \text{ N}$$

Menghitung Ts dan Ts1

$$T_s = \varepsilon_s \cdot E_s \cdot A_s \quad T_s \text{ diperoleh } 1365,21 \text{ N}$$

$$T_{s1} = \varepsilon_s \cdot E_s \cdot A_L \quad T_{s1} \text{ diperoleh } 21861 \text{ N}$$

Persamaan keseimbangan $\Sigma P = 0$

$$C_c - T_s - T_{s1} = 0 \quad \Sigma P \text{ diperoleh } 39,83 \text{ N}$$

$$\text{Error} = \frac{\Sigma P}{C_c}$$

Demikian terus menerus dilakukan sampai ΣP sangat kecil dan error mendekati 0

$$M = C_c \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad \text{Momen diperoleh } 2,91 \text{ kNM}$$

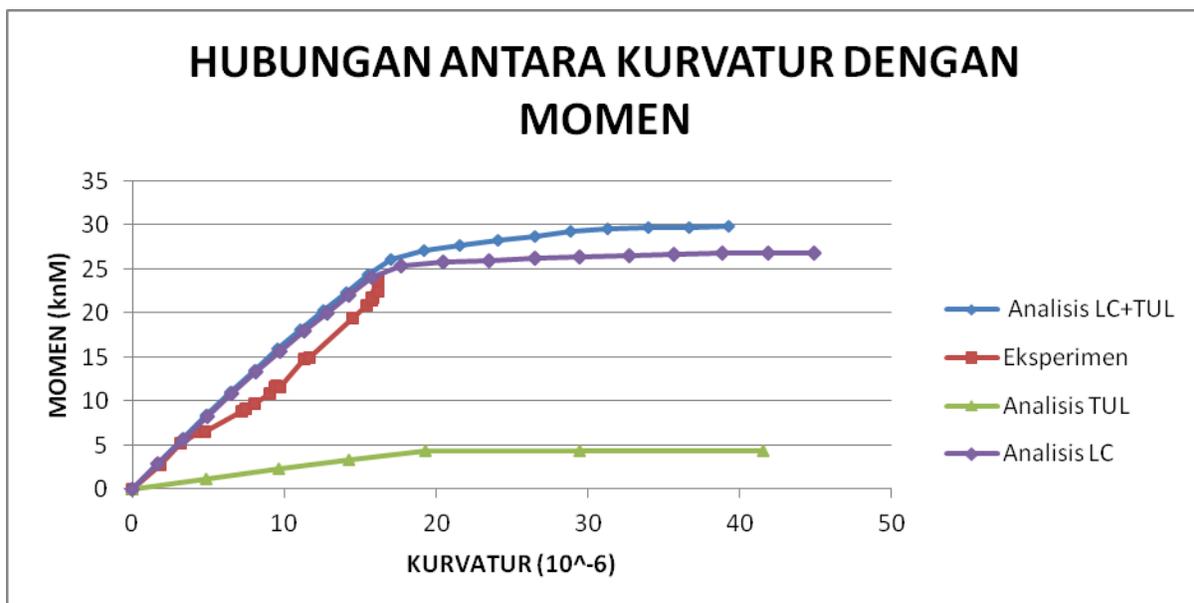
$$\frac{(0,00015 + \varepsilon_s)}{d}$$

$\varphi =$

Kurvatur diperoleh $1,65 \times 10^{-6}$

5. Perbandingan Hasil Eksperimen dan Analisa Teoritis

Untuk melengkapi data, berikut ini disajikan grafik hubungan momen dan kurvatur antara hasil eksperimen, analisa teoritis balok dengan lipschannel dan deform, serta balok dengan tulangan deform saja.



Gambar 4.5. Grafik Hubungan antara Momen dan Kurvatur (φ) pada Balok, analisa teoritis (LC+D10) hasil laboratorium dan analisa teoritis (D10)

Dari gambar 4.5. di atas memperlihatkan fungsi lipschannel sebagai tulangan luar pada balok dalam kondisi *full bonded*. Pada hasil eksperimen balok mengalami runtuh pada momen 22,3947 kNm karena geser memanjang di daerah tumpuan. Pada saat momen mencapai 5,1603 kNm Lips channel hasil eksperimen sudah mengalami slip, dan hal ini

menyebabkan adanya gap yang tidak terlalu besar antara hasil eksperimen dan hasil analisis, hal ini disebabkan sumbangan dari lips channel. Demikian juga antara hasil eksperimen dan analisa teoritis tidak ada perbedaan yang signifikan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari pengujian di laboratorium yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil pengujian tarik *lips channel* adalah $f_y = 199,71$ Mpa dan $E_s = 200.000$ Mpa dan $\varepsilon_{LC} = 0,001$
2. Hasil pengujian tarik baja ulir D10 adalah $f_y = 457,65$ Mpa dan $E_s = 200000$ Mpa dan $\varepsilon_y = 0,002$
3. Hasil pengujian tekan silinder beton $f'_c = 34,92$ MPa.
4. Lips Channel mengalami slip pertama pada saat $P = 17,201$ kN
5. Pada saat beban $P = 78,991$ kN dan momen $23,6973$ kNmm regangan yang terjadi pada lips channel = $0,00126$ artinya regangan pada lips channel sudah melewati regangan leleh. Pada besi ulir (D 10) regangan yang terjadi $0,00163$ belum melewati batas leleh. Sementara regangan beton yang terjadi adalah $0,00087$
6. Pada hasil eksperimen balok mengalami runtuh pada momen $22,3947$ kNM karena geser memanjang di daerah tumpuan
7. Pada saat momen mencapai $5,1603$ kNM Lips channel hasil eksperimen sudah mengalami slip, dan hal ini menyebabkan adanya gap yang tidak terlalu besar antara hasil eksperimen dan hasil analisis, hal ini disebabkan sumbangan dari lips channel

5.2. Saran

Dengan memperhatikan kesimpulan dan kesulitan-kesulitan yang diperoleh selama penelitian, maka diberikan saran sebagai berikut :

1. Untuk memperoleh hasil yang lebih akurat perlu kiranya penambahan balok uji sebagai syarat statistik untuk mengambil keputusan.
2. Untuk mendapatkan nilai regangan yang lebih akurat, pengukuran regangan sebaiknya dilakukan sepanjang bentang, demikian pula untuk mendapatkan nilai lendutan
3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan, terutama untuk mengantisipasi *slip* antara beton dan Lips Channell

DAFTAR PUSTAKA

1. ACI 318-95 / ACI 318R-95, 1995, Building Code Requirement for Structural Concrete and Commentary, Am Concrete Inst, Detroit, Michigan.
2. Anonim, 1991, Tata Cara Penghitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, Yayasan LPMB, Bandung.
3. Amin Ghali and Rene Fazze, 1986, Concrete Structure, Stresses and Deformation, Chapman & Hall, New York.
4. Aprile, A, Spacone E, Limkatayu, S, 2001, Role of Bond in RC Beams Strengthened With Steel and FRP Plates, Journal of Structural Engineering, Desember 2001.
5. Dipohusodo Istimawan, 1994, Struktur Beton Bertulang, PT.Gramedia, Jakarta.
6. Kuriger et all, 2001, Analysis of Composite Reinforce Concrete Beam, Departement of Mechanical Engineering, Ohio University.
7. Naaman, AE, Najm, H, 1991, Bond-Slip Mechanisme of Steel Fibers in Concrete, ACI Material Journal V.88.No.2, March – April, 1991.
8. Nawy, Edward, 1995, Reinforced Concrete A Fondamental Approach, Departement of Civil and Enviromental Engineering, The State University of New Jersey, New Jersey.
9. MacGregor, JG, 1997, Reinforced Concrete Mechanics and Design, Prentice Hall, New Jersey.
10. Park and Paulay, 1974, Reinforced Concrete Structures, Departement of Civil, University of Canterbury, New Zealand.
11. Surendra, P. Shah, 1983, Handbook of Structural Concrete, Pitman, London.
12. Vis, W.C and Kusuma, G, 1993, Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang, Erlangga, Jakarta.
13. Wang, C.K dan Salmaon, CG, 1986, Reinforce Concrete Design, Terjemahan Hariandja, PT. Pradaya Paramita, Jakarta.