

**PENGARUH BEBAN BERULANG TERHADAP KANTILEVER BAJA**

***THE EFFECT OF CYCLIC LOAD ON STEEL CANTILEVER***

*Epafroditus Tuwanakotta, M.Wihardi Tjaronge, Nasaruddin  
Program Studi Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin*

**Alamat Korespondensi :**

Epafroditus Tuwanakotta

Fakultas Teknik,

Universitas Hasanuddin,

Makassar 90245

HP. 081212255522

Email : [Dylan\\_tuwanakotta@yahoo.co.id](mailto:Dylan_tuwanakotta@yahoo.co.id)

## ABSTRAK

Suatu balok baja kantilever yang diberikan beban vertikal terpusat di ujung akan mengalami deformasi vertical. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa regangan lentur dan regangan geser yang terjadi pada kantilever baja akibat beban berulang dan mengetahui besarnya beban yang bekerja pada baja kantilever. Untuk pengujian beban berulang terhadap kantilever baja menggunakan referensi dari SNI dan ASCE 2005. Pengujian dilakukan dengan model fisik laboratorium dengan desain yang dibuat dengan metode pengujian balok kantilever berukuran 400.200.13.8 cm dengan panjang 1.060 meter untuk sambungan balok kantilever digunakan sistem end plate connection, baut yang digunakan adalah baut mutu tinggi A325 diameter baut  $\varnothing$  19 mm, jumlah baut 12, dan tebal plat 10 mm dilas keliling 70 Ksi dengan tebal las 8 mm pada ujung balok kantilever. Sementara pola pembeban dilakukan secara berulang dan kemudian dibandingkan dengan perhitungan analisis dengan aplikasi numerik program komputer. Dari hasil pengujian yang dilakukan, kapasitas beban lateral naik seiring dengan penambahan displacement. Hasil pengujian terhadap load controlled dan displacement controlled pada benda uji menunjukkan perilaku yang hampir sama pada zona elastik. Dimana kekakuan pada benda uji yang relatif sama terlihat dari garis lurus yang berimpit pada kurva benda uji dan regangan yang terjadi pada flens dan web dari balok kantilever masih pada tahap elastisitas. Pada perbandingan antara analisis SAP 2000 dan hasil Laboratorium terlihat perbedaan tidak terlalu signifikan. Dimana pada saat beban mencapai 20 KN displacement pada analisis sebesar 1.988 mm, displacement pada perhitungan SAP 2000 sebesar 1.9890 mm dan pada penelitian sebesar 1.8466 mm.

Kata kunci : Beban berulang, balok kantilever, baja.

## ABSTRACT

*A steel cantilever beam given vertical load will be concentrated at the end of the vertical deformation. This study aims to analyze the bending strain and shear strain that occur in steel cantilever due to cyclic load and to find out the size of the load acting on the steel cantilever. The testing of cyclic load on steel cantilever was conducted by using SNI and ASCE 2005 references. The tests were conducted by using the laboratory physical model with design made by measuring the cantilever beam of 400.200.13.8 and a length of 1.060 meters. The end plate connection system was used for the connection of the cantilever beam. There were 12 bolts of high quality (A325) with a diameter of  $\varnothing$  19 mm. The plate was 10 mm thick, and it had circumferential weld (70 Ksi and 8 mm thick) at the tip of the cantilever beam. The loading pattern was done repeatedly, and the compared with analytical calculation by using computer program numerical application. The test reveal that lateral load capacity increased along with the increase of displacement. The test of load and displacement controlled on the specimens reveal behaviors almost similar to elastic zone. The stiffness of the test specimen is relatively equal as the straight line coincides with the curve of the test specimen, and the strain occurring in the flange and web of the cantilever beam is still at the stage of elasticity. In the comparison between the analysis of SAP 200 and laboratory results, the difference is not really significant. When the load reaches 20 KN, the displacement is 1.988 mm in the analysis, 1.9890 in the sap 2000 calculation, and 1.8466 mm in the study.*

Kata kunci : cyclic load, cantilever beams, steel

## **PENDAHULUAN**

Regangan merupakan bagian dari deformasi, ada hubungan umum antara tegangan dan regangan untuk material elastis yang pertama kali dinyatakan oleh Robert Hooke (1635-1703) dan dikenal sebagai hukum Hooke. Dalam hukum Hooke dijelaskan hubungan antara tegangan dan regangan, dimana hubungan ini menggambarkan keadaan yang terjadi pada batang baja lunak yang ditarik gaya aksial tertentu pada kondisi temperatur ruang. Dari hubungan ini diperoleh bahwa nilai regangan yang terjadi berbanding lurus dengan tegangan atau beban aksial yang diberikan pada batang tersebut. Kondisi ini yang kemudian disebut sebagai kondisi elastis (Oentoeng, 1999).

Pembebanan yang lebih cepat seperti akibat pukulan palu, gempa bumi atau ledakan nuklir dapat merubah sifat tegangan regangan. Umumnya kenaikan laju regangan akibat beban dinamis menaikkan titik leleh, kekuatan tarik dan daktilitas. Pada suhu tertentu terjadi penurunan kekuatan yang cukup berarti. Ketegasan juga akan meningkat dengan laju regangan yang tinggi, tetapi kelihatan berkaitan dengan factor lain seperti tekuk tempat konsentrasi tegangan dan pengaruh suhu. Factor yang lebih penting dari pembebanan dinamis bukanlah laju penambahan regangan yang cepat, tetapi gabungan dengan laju penurunan regangan yang cepat (Mustopo dkk., 2008).

Dilihat ketika sebuah balok lurus yang menerima beban-beban lateral mengalami momen lentur dan gaya geser pada setiap penampangnya. Suatu balok baja kantilever yang diberikan beban vertikal terpusat di ujung akan mengalami deformasi vertikal. Pada hakekatnya benda yang mengalami tegangan akan menimbulkan deformasi. Deformasi ini sangat berhubungan erat dengan besarnya gaya yang menyebabkannya (Mustopo dkk, 2008).

Pada kasus yang umum terjadi Suatu balok baja kantilever yang diberikan beban berulang di ujung akan mengalami regangan lentur dan regangan geser pada setiap penampangnya (Setiyarto dkk., 2003). Maka pada penelitian ini akan diteliti mengenai pengaruh beban berulang terhadap kantilever baja.

## **BAHAN DAN METODE**

### ***Lokasi dan Rancangan Penelitian***

Untuk memperoleh data dalam penelitian ini dilakukan di laboratorium Bahan Dan Struktur Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin Makassar. Benda uji yang digunakan adalah baja WF 400x200x13x8 yang dimodelkan berupa balok kantilever

dengan perletakan jepit pada salah satu ujung balok. Penelitian dilakukan dengan memberi gaya horisontal berulang pada benda uji balok kantilever tersebut sedemikian sehingga diperoleh keadaan defleksi murni. Setting pengujian dan setting pembebanan balok kantilever di laboratorium

### ***Pembuatan Benda Uji***

Pada pembuatan benda uji ini digunakan skala geometri 1 : 1. Benda uji balok kantilever pada penelitian ini menggunakan profil WF 400x200x13x8. yang dirakit dengan panjang balok 1.06 m., dimensi profil WF 400x200x13x8 dimana  $d = 400$  mm,  $bf = 200$  mm,  $tw = 13$  dan  $tf = 8$  mm. Untuk sambungan balok kantilever digunakan sistem end plate connection, baut yang digunakan adalah baut mutu tinggi A325 diameter baut  $\varnothing 19$  mm, jumlah baut 12, dan tebal plat 10 mm dilas keliling 70 Ksi dengan tebal las 8 mm pada ujung balok kantilever (AISC, 1993).

### ***Pemodelan Benda Uji***

Pengujian Pengaruh beban berulang terhadap balok Kantilever, dilakukan terhadap benda uji berupa Balok kantilever yang salah satu ujungnya dijepit sedangkan ujung lainnya dapat berpindah mengikuti arah gaya terpusat yang bekerja bolak-balik pada arah tegak lurus sumbu balok Gambar 1. Perpindahan ini akan menimbulkan defleksi pada ujung kabilever yang searah gaya geser. Pada Ujung jepit disambung dengan baut dan direncanakan berperilaku seperti yang dimodelkan. Set up pengujian benda uji di laboratorium dilakukan sesuai dengan pemodelan Balok Kantilever Gambar 2 dengan menghubungkan salah satu ujung benda uji dengan Balok Baja WF sebagai perletakan kantilever, dan ujung lainnya dengan Hydraulic Jack yang bekerja dengan gerakan tarik-tekan dalam arah tegak lurus sumbu baja(AISC, 2005)

### ***Pemasangan Benda Uji***

Perakitan benda uji dimana kedudukan kolom diletakan pada lantai yang diperkuat dengan angkur, kemudian balok kantilever diletakan tegak lurus terhadap kolom dan disambung menggunakan sambungan type end plate connection.

### ***Test Setup dan Instrumentasi***

Pembebanan diberikan melalui Hidraulik Jack pada ujung atas Balok berupa perpindahan siklik quasi statik yang diatur mengikuti pola pembebanan yang ditunjukkan dalam Pencatatan dilakukan selama pembebanan terhadap besarnya beban yang bekerja, pembacaan perpindahan ujung Baja kantilever menggunakan LVDT (Linier Variabel Differential Transformer) yang terhubung melalui kabel ke data logger. , dan Pembacaan

regangan pada baja, yaitu regangan Lentur pada pelat sayap dan regangan geser pada pelat badan baja IWF menggunakan strain gauge yang terhubung melalui kabel ke data logger.

Salah satu tujuan percobaan ini adalah mempelajari regangan lentur dan regangan geser pada Kantilever baja, maka pemasangan instrumentasi strain gauge dilakukan untuk mengamati perilaku lentur, sebanyak 2 buah strain gauge dipasang memanjang pada flange kiri (diberi kode G1 dan G2), dan sebanyak 2 buah strain gauge dipasang memanjang pada flange Kanan (diberi kode G9 dan G10). Sedangkan untuk mengamati perilaku geser, 5 buah strain gauge yang dipasang dengan 1 D dari profil (diberi kode G3,G4,G5,G6 dan G7) (Wahyudi, L. dkk., 1992).

Pengujian dilakukan dengan memberikan beban siklik pada ujung balok yang disimulasikan dengan alat yang terdiri dari hydraulic Jack dengan kapasitas 1500KN yang dilengkapi oleh load cell, 2 (dua) buah LVDT untuk mengukur lendutan dan strain gauge yang dipasang pada Badan dan sayap untuk mengetahui regangan yang terjadi (SNI-03-1726-2002).

Sistem pembebanan yang dilakukan pada struktur balok kantilever mengacu pada pola pembebanan load controlled. Tahap load controlled adalah tahap dimana beban positif maupun beban negative ditentukan besarnya, kemudian dilakukan pengamatan terhadap defleksi yang terjadi, serta pembacaan regangan yang terjadi dari strain gauge yang dipasang pada sisi sayap dan badan balok kantilever.

Tiap siklus terdiri dari tiga putaran pembebanan, positif dan negatif. untuk pembebanan tahap kedua yakni tahap displacement controlled, dalam pengujian dengan kenaikan load 10 KN, 20 KN, 30 KN, 40 KN dan seterusnya sampai retak tercapai. Tiap siklus pada tahap load controlled ini dilakukan sebanyak tiga kali putaran pembebanan. (Uang dkk., 2000).Benda uji ditempatkan pada strong wall, dengan kolom dalam posisi mendatar di atas perletakan. Setting up benda uji dapat dilihat pada Gambar 2 Pembebanan siklik disimulasikan dengan alat hydraulic actuator yang mempunyai kapasitas 1500 KN. Hydraulic actuator diletakkan pada balok dengan jarak 100 cm dari muka kolom (SNI03-1729-2002).

## **HASIL**

### ***Hasil Pengujian Bahan***

Untuk mengetahui mutu baja profil WF 400.200.8.13, maka dilakukan pengujian tarik dengan mengambil sampel pada bagian badan profil dan pada bagian sayap profil. Hasil pengujian tarik baja profil 400.200.8.13 dilihat pada tabel 1.

### ***Hubungan Beban dan Displacement***

Hasil pengujian terhadap benda uji menunjukkan perilaku yang hampir sama pada zona elastik. Pada saat pembebanan  $P_{\text{tekan}} = 49.935 \text{ KN}$  *displacement* yang terjadi  $\Delta = 12.015 \text{ mm}$  dan  $P_{\text{tarik}} = 50.085 \text{ KN}$  perpindahan yang terjadi  $\Delta = 9.045 \text{ mm}$ . Gambar 3 terlihat bahwa kapasitas beban lateral naik seiring dengan pertambahan *displacement*. Perbedaan beban lateral arah positif dan negatif dimungkinkan karena perbedaan gerakan *load cell* untuk masing-masing arah, sehingga mempengaruhi defleksi lateral balok kantilever.

### ***Energi disipasi (Hysteric Energy)***

Energi disipasi (*hysteric energy*) merupakan luasan pada setiap siklus. Luasan loop di hitung dengan pendekatan numerik, dengan menganggap setiap luasan pias pada *loop* merupakan luasan persegi.

### ***Hubungan Beban Dan Regangan***

Kurva beban dan regangan dari hasil pengujian balok kantilever dapat dilihat pada gambar 4. Nilai pembebanan lateral balok kantilever *load controlled* tekan dan *load controlled* tarik serta balok kantilever diperoleh dari hasil pembeban bolak-balik setiap siklusnya.

## **PEMBAHASAN**

Sistem pembebanan yang dilakukan pada struktur balok kantilever mengacu pada pola pembebanan *load controlled*. Dari hasil pengujian *Load controlled* diperoleh hubungan beban dan defleksi, yang dibuat dalam bentuk kurva *hysteresis loop*, seperti terlihat pada gambar 3. Hasil pengujian Pada pengujian balok Kantilever menunjukkan bahwa balok masih berada pada daerah elastis, hal ini dapat dilihat dari grafik dimana balok belum mencapai batas leleh dari baja yaitu untuk  $P_y = 2085.3 \text{ KN}$  dan *displacement* pada saat leleh  $\Delta_y = 52.4 \text{ mm}$ .

Hal tersebut berdampak pada *Hysteric energy*. *Hysteric energy* adalah luasan total dari kurva tertutup (berbentuk daun) pada *hysteric loops* diambil pada setiap siklusnya. Energi ini merupakan energi serapan (*energy dissipation*) pada balok untuk setiap siklus. Besarnya energy serapan pada setiap siklus menunjukkan kemampuan struktur untuk menyerap dan merendam beban luar yang berkerja. (Ramadan, T dkk.,). Energi disipasi akan mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan. Besarnya energy disipasi pada saat beban tekan  $P_{\text{tekan}} = 49.935 \text{ KN}$  dan *displacement*  $\Delta_{\text{tekan}} = 11.78 \text{ mm}$  sebesar  $HE =$

294.117 KN dan beban tarik  $P_{tarik} = 50.01$  KN dan displacement  $\Delta_{tarik} = 9.015$  mm sebesar  $HE = 225.826$  KN.

Perbedaan beban Tekan arah positif dan beban tarik arah negatif dimungkinkan karena perbedaan gerakan load cell untuk masing-masing arah, sehingga mempengaruhi besarnya disipasi energi pada balok kantilever baja.

Berdasarkan hal tersebut, maka pengaruhnya terhadap regangan dan tegangan adalah, pada pembebanan  $P_{tekan} = 49.935$  KN regangan maksimum yang dicapai pada bagian *flens* baja  $G1 = 164.742 \mu$ ,  $G2 = 154.286 \mu$ ,  $G9 = 163.81 \mu$  dan  $G10 = 172.381 \mu$ . sedangkan regangan maksimum yang dicapai pada bagian web baja  $G3 = 101.95 \mu$ ,  $G4 = 120.952 \mu$ ,  $G5 = 2.857 \mu$ ,  $G7 = 110.476 \mu$  dan  $G8 = 139.048 \mu$ .

Pada pembebanan  $P_{tarik} = 50.01$  KN regangan maksimum yang dicapai pada bagian flens baja  $G1 = 157.143 \mu$ ,  $G2 = 150.476 \mu$ ,  $G9 = 171.429 \mu$  dan  $G10 = 174.286 \mu$ . sedangkan regangan maksimum yang dicapai pada bagian web baja  $G3 = 100.952 \mu$ ,  $G4 = 123.81 \mu$ ,  $G5 = 8.571 \mu$ ,  $G7 = 106.667 \mu$  dan  $G8 = 140 \mu$ . Hal tersebut menunjukkan bahwa pengaruh beban berulang terhadap kantilever baja masih pada tahap elastis, sehingga berdampak terhadap kualitas kemampuan baja kantilever terhadap pembebanan berulang yang terjadi.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut: Hasil pengujian pada saat pembebanan  $P_{tekan} = 49.935$  KN *displacement* yang terjadi  $\Delta = 12.015$  mm dan  $P_{tarik} = 50.085$  KN perpindahan yang terjadi  $\Delta = 9.045$  mm. Energi disipasi akan mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan. besarnya energy disipasi pada saat beban tekan  $P_{tekan} = 49.935$  KN dan *displacement*  $\Delta_{tekan} = 11.78$  mm sebesar  $HE = 294.117$  KN dan beban tarik  $P_{tarik} = 50.01$  KN dan displacement  $\Delta_{tarik} = 9.015$  mm sebesar  $HE = 225.826$  KN. Pada Pengamatan visual menunjukkan besaran yang tercatat Pada pembebanan 50.1 KN sambungan las pada benda uji sudah memasuki fase kerusakan yaitu mengalami retak. Untuk pembebanan awal perbedaan nilai harga mutlak tidak terlihat, tetapi ketika mencapai beban 50 KN terlihat perbedaan yang cukup signifikan. Perbedaan nilai regangan flens kiri dan kanan Pada saat Ptekan sebesar  $G1 = 164.76 \mu$ ,  $G2 = 154.29 \mu$ ,  $G3 = 163.81 \mu$ , dan  $G10 = 173.38 \mu$ . Sedangkan pada  $P_{tarik}$  regangan pada flens kanan sebesar  $G1 = 157.14 \mu$ ,  $G2 = 149.52 \mu$ ,  $G3 = 172.38 \mu$ , dan  $G10 = 174.28 \mu$ . Dari hasil regangan yang didapat pada pengujian ini secara hitungan analisis numerik secara teori didapat nilai tegangan pada flens akibat pembebanan siklik Ptekan 50 KN masing – masing sebesar  $G1 = 0.32952$  Mpa,  $G2 = 0.30858$  Mpa,  $G3 = 0.32762$  Mpa, dan  $G10 = 0.346762$

Mpa. Penelitian ini masih sebatas pengujian pada batas Elastis sehingga hasil yang dicapai belum cukup sebagai parameter atas kemampuan mekanis baja. Untuk itu, perlu dilakukan penyempurnaan yang meliputi, diadakan penelitian lebih lanjut lanjut sampai batas Plastis. Sementara itu, pada sambungan baut diperlukan alat yang memadai untuk proses pengkancingan dan perlu diperhatikan sambungan dalam pengertian sambungan harus diperkuat sehingga tidak terjadi kegagalan pada sambungan.



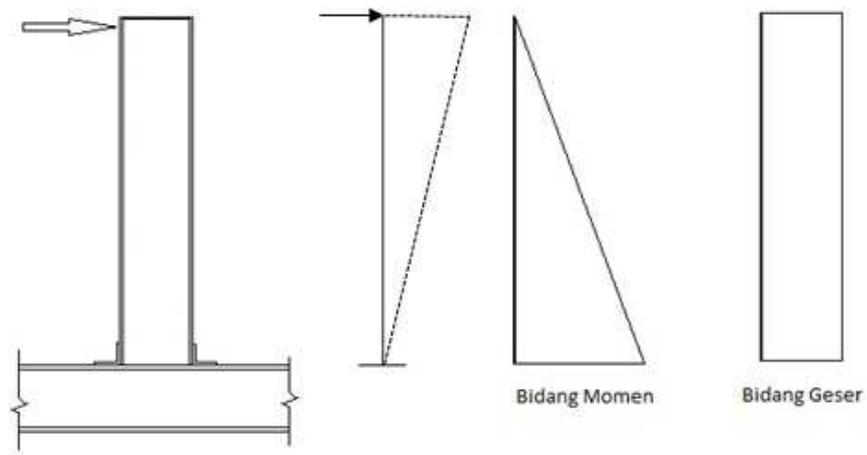
## DAFTAR PUSTAKA

- American Institute of Steel Construction. (2005)a. *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*, ANSI/AISC 358-05, Chicago, IL.
- American Institute of Steel Construction. (2005) c. *Specification for Structural Steel Buildings*, ANSI/AISC 360-05, Chicago, IL. Bowles, J.E.
- Moestopo, M., Kusumastuti, D., Novan, A. (2008). *Improved Performance of Bolt-Connected Link Due to Cyclic Load*, Jakarta: International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation.
- Oentoeng, 1999. *Konstruksi Baja*, Kerjasama LPPM Universitas Kristen PETRA Surabaya dan ANDI Yogyakarta, Yogyakarta.
- Ramadan, T., Ghobarah, A., (1994). Behaviour of Bolted Link-Column Joints in Eccentrically Braced Frame, *Canadian Journal of Civil Engineering*, pp.745-754.
- Setiyarto, D. Y. Analisis Tegangan Eksperimental Pada Balok Baja WF 150x75x5x7 Dengan Menggunakan Strain Gauge, *Majalah Ilmiah UNIKOM*, Vol. 7, No. 2, Hal 149-156
- SNI-03-1726-2002. *Tata Cara Perencanaan Bangunan Tahan Gempa*, Badan Standar Nasional
- SNI 03-1729-2002. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung*, Badan Standar Nasional.
- Uang, C.M., Yu, Q.S., Noel, S., and Gross, J. (2000). Cyclic Testing of Steel Moment Connection Rehabilitated with RBS or Welded Haunch, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 126, No. 1, pp. 57-68.
- Wahyudi, L. and Rahim, S. A. (1992). *Metode Plastis Analisis Dan Desain*. PT. Gramedia, Jakarta.

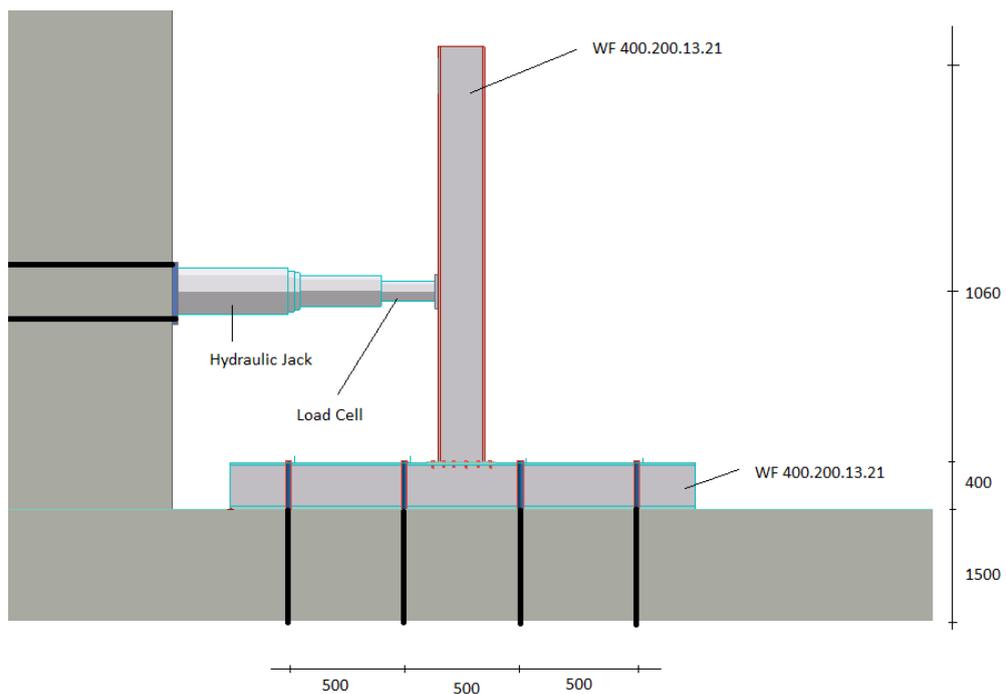
## LAMPIRAN

**Tabel 1. Hasil pengujian tarik baja**

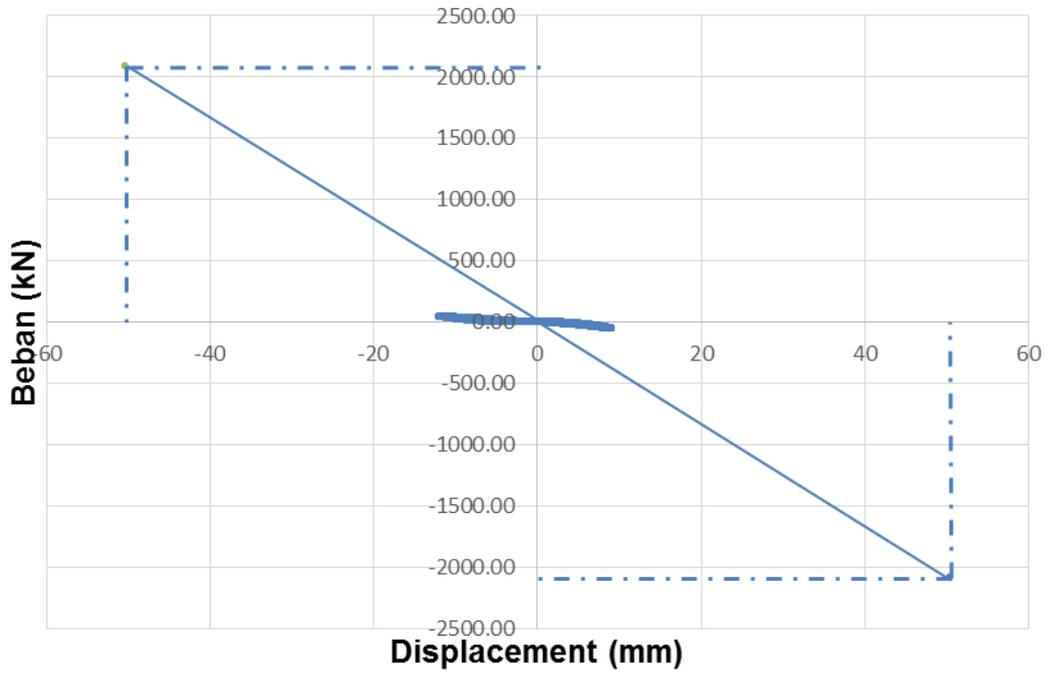
Benda uji	Fy Kgf/mm	Fu Kgf/mm
1	24,79	36,42
2	26,79	35,9



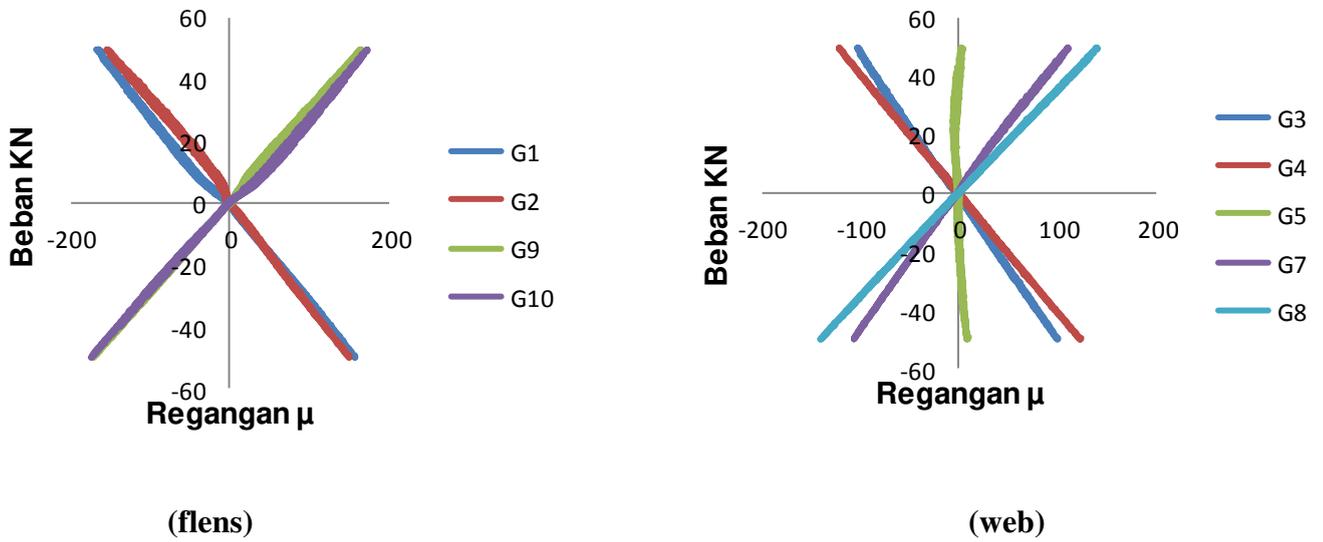
**Gambar 1. Pemodelan benda uji**



**Gambar 2. Set up benda uji**



**Gambar 3. Grafik Hysteteric Loops Load Controlled**



**Gambar 4. Kurva hubungan beban dan regangan pada flens dan web**

