

Analisis Numerik Lendutan Balok Baja dengan Penambahan Pengaku (*Stiffener*)

Nilu Kamelia¹, Iskandar Romey Sitompul², Reni Suryanita^{*3}

^{1,2} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Jl. HR Soebrantas Km. 12,5 Pekanbaru, 28293

Submitted : 18 Oktober 2020;

Accepted: 28 Januari 2021

Abstrak

Penggunaan baja sebagai material untuk pekerjaan konstruksi terus meningkat. Pada umumnya perencana struktur mengganti profil jika beban melebihi kapasitas daya dukungnya. Namun untuk mengganti profil yang lebih besar memakan biaya yang lebih besar. Oleh karena itu dilakukan penelitian dan analisis penggunaan pengaku (*stiffener*) pada balok baja agar mampu menahan beban yang ada tanpa harus mengganti ukuran profil. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh yang terjadi pada balok baja dengan penambahan *stiffener*. Penelitian dilakukan dengan analisis *Finite Element LUSAS V18*. Model profil yang digunakan adalah IWF 150x75x5x7. Analisis menunjukkan bahwa dengan pembebanan sebesar 55 kN, balok tanpa *stiffener* memiliki lendutan 10,55 mm. Balok dengan satu *stiffener* pada $\frac{1}{2}$ bentang memiliki lendutan sebesar 9,07 mm dan balok dengan tiga *stiffener* pada $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ bentang memiliki lendutan 9,06 mm. Kekakuan balok baja dengan penambahan *stiffener* mengalami peningkatan. Nilai kekakuan balok baja tanpa *stiffener* 5,620 kN/mm, balok baja satu *stiffener* 6,21 kN/mm dan balok baja tiga *stiffener* 6,22 kN/mm. Berdasarkan hasil eksperimen dan analisis didapatkan bahwa penggunaan *stiffener* pada balok baja mampu mengurangi lendutan dan membuat balok menjadi lebih kaku.

Kata Kunci : Balok baja; *stiffener*; profil IWF 150x75x5x7; lendutan; *LUSAS V.18*

Abstract

The use of steel as a material for construction work continues to increase. In general, structural engineers change the profile when the load exceeds the carrying capacity. However, replacing a larger profile costs more. Therefore, a study was conducted on the use of stiffeners in steel beams in order to be able to withstand the existing loads without having to change the size of the profile. The purpose of this study was to analyze the effect on steel beams with the addition of a stiffener. The research was conducted with LUSAS V18 Finite Element analysis. The profile model used is IWF 150x75x5x7. The analysis result shows that the

*Corresponding author e-mail : reni.suryanita@eng.unri.ac.id
Another author email : nila.kamelia6055@student.unri.ac.id

beam without stiffener with a load of 55 kN produces a deflection of 10.55 mm. Meanwhile, a beam with one stiffener at $\frac{1}{2}$ span has a deflection of 9.07 mm. A beam with three stiffeners at $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ and $\frac{3}{4}$ spans has a deflection of 9.06 mm. Steel beams without stiffener produce stiffness of 5.620 kN / mm, while steel beams with one stiffener produce stiffness of 6.21 kN / mm and steel beams with three stiffeners produce stiffness of 6.22 kN / mm. Based on the results of experiments and analysis, it was found that the use of stiffener on steel beams was able to reduce deflection and make the beams stiffer.

Keywords: Steel beam; stiffener; IWF 150x75x5x7; Deflection; LUSAS V.18

A. PENDAHULUAN

Perkembangan jumlah penduduk yang terus meningkat mengakibatkan semakin tinggi kebutuhan terhadap pembangunan. Unsur terpenting dalam pembangunan konstruksi yang harus diperhatikan yaitu perencanaan struktur. Para perencana harus mendesain bangunan yang kuat, ekonomis dan tahan terhadap segala kondisi lingkungan. Suatu struktur juga didesain untuk dapat menahan beban yang bekerja dan dituntut untuk tidak mengalami lendutan yang berlebih (*over deflection*) agar mempunyai kemampuan layan yang baik. Balok akibat pembebanan dapat dilihat pada Gambar 1.

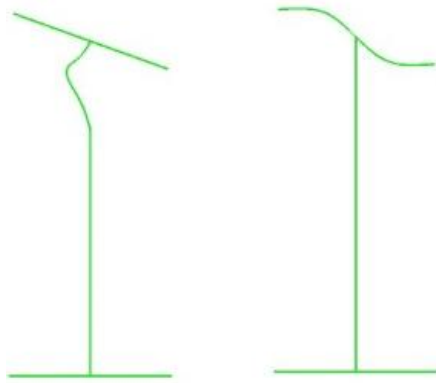


Gambar 1. Balok Akibat Pembebanan

Pembangunan struktur gedung maupun jembatan secara umum banyak menggunakan jenis material baja (Oliver, 2014). Material baja memiliki keunggulan dalam hal elastisitas dan kekuatan yang jauh lebih tinggi. Baja berfungsi sebagai komponen tekan, lentur atau kombinasinya. Pada struktur

baja bentuk profil umumnya lebih ramping, ini bertujuan agar terjadinya efektifitas penampang. Dalam konstruksi baja khususnya pada balok banyak menggunakan profil IWF. Profil ini memiliki potensi terjadinya ketidakstabilan yang berupa deformasi keluar arah bidang karena memiliki tebal badan (*web*) yang relatif tipis. Deformasi merupakan salah satu kontrol kestabilan suatu elemen balok terhadap kekuatannya.

Suatu batang lurus mendapatkan gaya tekan, semakin lama semakin besar maka akan mengalami perubahan bentuk dari sumbu batang lurus menjadi melengkung yang dinamakan dengan tekuk (Siregar & Panjaitan, 2020). Kegagalan (tekuk) yang biasanya terjadi pada balok IWF yaitu tekuk lokal keadaan dimana pelat sayap atau pelat badan mengalami tekuk (gagal) sedangkan struktur yang lain masih utuh seperti Gambar 2. Kegagalan kedua tekuk lateral yaitu dimana balok yang mengalami deformasi arah lateral dan berotasi cukup besar secara tiba-tiba sehingga struktur tidak stabil dan terjadilah keruntuhan total.



Gambar 2. Tekuk Lokal pada Profil IWF

Suatu struktur dikatakan stabil apabila tidak mudah terguling, miring atau bergeser selama umur rencana bangunan. Untuk mengatasi hal tersebut maka dilakukan inovasi pada balok IWF dengan penambahan pengaku sehingga dapat membuat balok menjadi lebih kuat dan kaku. Penambahan pengaku pada elemen balok dapat didekati dengan kontrol lendutan. Hal ini sangat penting terutama dari segi kekuatan dan kekakuan. Tujuan dari memodifikasi ini untuk mendapatkan kekuatan yang lebih besar, ringan, tahan lama dan memiliki nilai yang ekonomis.

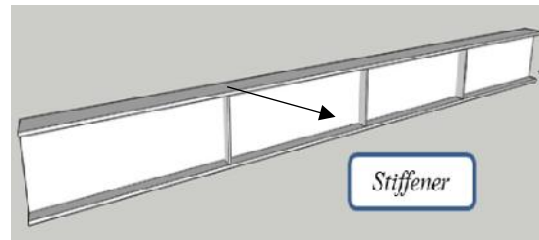
Berdasarkan penelitian Lukman (2014) dan Aminullah et al., (2014) salah satu cara untuk meningkatkan kekuatan pada balok yaitu dengan memberikan pengaku-pengaku. Pengaku secara umum diketahui dapat meningkatkan kekuatan balok baja. Penelitian ini melanjutkan penelitian terdahulu mengenai penambahan pengaku pada balok baja IWF dengan uji lentur murni.

B. TINJAUAN PUSTAKA

1. Stiffener

Stiffener merupakan bantalan pengaku (pelat) yang digunakan pada titik tumpuan suatu balok saat balok tidak memiliki kemampuan pada badan profil untuk mendukung reaksi akhir atau beban terpusat. Batas untuk kondisi

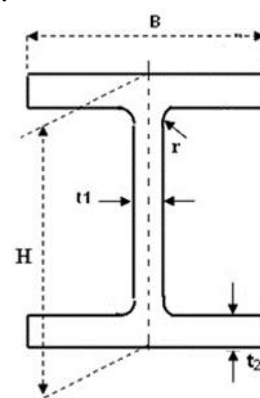
ini antara lain leleh lokal pada *web* (badan) dan tekuk lokal *web*. Tekuk lokal merupakan keadaan dimana pelat sayap mengalami tekuk (gagal), sedangkan struktur yang lain masih utuh. Tekuk lokal *web* terjadi apabila balok diberi gaya tekan terpusat dan pergerakan lateral antara *flange* (sayap) tekan dan tarik yang terbebani, tetap sejajar saat terjadi tekuk pada *web*. Balok baja dengan *stiffener* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Balok Baja dengan *Stiffener*

2. Profil WF

Profil *wide flange* adalah salah satu produk baja berpenampang H dan I yang dihasilkan dari proses canai panas (*hot rolling mill*). Baja profil WF-Beam memiliki dimensi tinggi badan (H), lebar sayap (B), tebal badan (t_1), tebal sayap (t_2) merata dari ujung hingga pangkal radius (r). Profil IWF dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Profil IWF

3. Lendutan Pada Balok

Lendutan adalah perubahan bentuk pada balok akibat adanya beban vertikal yang diberikan pada balok. Deformasi pada balok dapat dijelaskan berdasarkan

defleksi balok dari posisi sebelum mengalami pembebanan. Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke permukaan posisi netral setelah terjadi deformasi. Konfigurasi yang diasumsikan dengan deformasi permukaan netral dikenal dengan kurva elastis dari balok (Windah & Pandaleke, 2019). Besarnya lendutan yang terjadi tergantung dari beberapa faktor sebagai berikut:

- a. Sifat kekakuan penampang (*Modulus elasticity*)
- b. Posisi batang terhadap beban dan dimensi batang, yang biasanya ditunjukkan dalam besaran momen inersia batang.
- c. Besaran beban yang diterima.

Umumnya lendutan pada balok terjadi karena *bending* momen, sehingga perhitungan lendutan cukup dengan menyelesaikan persamaan *differensial* garis elastis (Windah & Pandaleke, 2019). Persamaan *differensial* dasar untuk kurva *defleksi* suatu balok dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$M = EI \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (1)$$

Untuk mendapatkan lendutan (y) perlu dilakukan dua integrasi pada persamaan momen lentur dimana integrasi pertama menghasilkan kemiringan dan integrasi kedua menghasilkan lendutan (y).

4. Kekuatan Pada Balok

Kekakuan pada balok dapat dianalisis dengan memanfaatkan kurva hubungan antara beban dan lendutan yang terjadi pada balok. Kekakuan didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan untuk memberikan satu unit *displacement* (Mulyo et al., 2017). Besarnya kekakuan pada balok dapat digitung dengan persamaan berikut ini:

$$k = \frac{P}{\Delta} \quad (2)$$

dengan:

k = Kekakuan

p = Beban

Δ = Lendutan

5. Perangkat Lunak Elemen Hingga *Lusas V.18*

Perangkat lunak yang digunakan untuk menganalisis balok yaitu *London University Stress Analysis System (LUSAS)* lisensi Universitas Riau (Lusas, 2018). *LUSAS* merupakan salah satu perangkat lunak yang dapat digunakan untuk menganalisis studi kasus maupun perilaku pada struktur. Kelebihan *software* ini salah satunya yaitu mampu menganalisis secara detail analisis struktur. Menurut Intansari, (2012) produk utama pada *software lusas* yaitu:

- a. Permodelan (*modelling*)

Tahap awal yang dilakukan dalam menganalisis perilaku struktur yaitu permodelan. Dalam *Software LUSAS* permodelan memperhitungkan unsur geometrik maupun karakteristik struktur meliputi bahan, pembebanan, dan tumpuan. Pada permodelan terbagi menjadi beberapa garis besar yaitu:

- 1) Geometri (*Geometry*)

Geometri adalah suatu gambaran yang dibuat dari beberapa koordinat membentuk suatu garis luasan dan volume yang menggambarkan suatu model. Model dalam *LUSAS* dapat digambarkan dalam proyeksi dimensi 2D maupun 3D.

- 2) Atribut (*Attributes*)

Atribut adalah suatu perilaku yang diberikan kepada model yang telah dibuat. Penggunaan atribut pada *LUSAS* meliputi jaringan, pembebanan, material, maupun tumpuan yang dimana dapat berbeda-beda. Dalam melakukan studi kasus hal pertama yang harus dibuat adalah atribut. Setelah *attributes* dibuat, dikenakan pada model yang telah dibuat. Proses ini disebut dengan

proses pendefinisian. Pendefinisian dapat berupa informasi tambahan seperti arah gaya, faktor skala dan lainnya.

3) Pembebanan (*load cases*)

Pembebanan dalam *LUSAS* dapat dibedakan berdasarkan ketetapan analisis pada model yaitu pembebanan struktur dan pembebanan suhu. Pada *Software LUSAS* pembebanan struktur dan suhu dapat dilakukan secara bersamaan. Dalam analisis non linier, pembebanan setara dengan tahapan analisis dimana pada setiap pembebanan, perletakan, maupun jenis dari analisis dapat diubah.

4) Jaringan (*Meshing*)

Jaringan merupakan pengaturan model/elemen dimana model yang telah dibuat harus dipecah menjadi node dan elemen yang lebih kecil. Jika jaringan pada model semakin rapat maka hasil analisis yang dihasilkan akan semakin akurat. Atribut jaringan dapat dibuat dan diterapkan pada geometri pada cara yang sama. Atribut jaringan menjabarkan mengenai jenis, jumlah node dan bentuk elemen yang akan digunakan dalam mewakili setiap bagian dari geometri. Mengubah kerapatan jaringan pada geometri tanpa mengganggu model serta geometri merupakan salah satu keuntungan pendekatan analisis menggunakan jaringan. Kerapatan pada geometri model dapat berubah bila data jaringan diganti.

5) Utilitas (*utilities*)

Utilitas merupakan jenis analisis yang memerlukan ataupun membuat data tambahan yang mirip dengan atribut namun tidak dapat diterapkan pada geometri. Utilitas juga dapat membuat jenis geometri serta material yang tidak tersedia *LUSAS*.

6) Kontrol (*control*)

Kontrol digunakan untuk mengontrol proses analisis pada model. Hal ini dilakukan karena analisis statis linear lebih mudah daripada analisis non-linear.

b. Menjalankan analisis

Tahap yang dilakukan setelah tahap permodelan adalah menjalankan permodelan. Model yang telah selesai dianalisis menggunakan *LUSAS Solver* yang menganalisis serta mengeluarkan hasil analisis pada tahap berikutnya. *LUSAS Solver* juga dapat mendeteksi kesalahan yang terjadi pada permodelan.

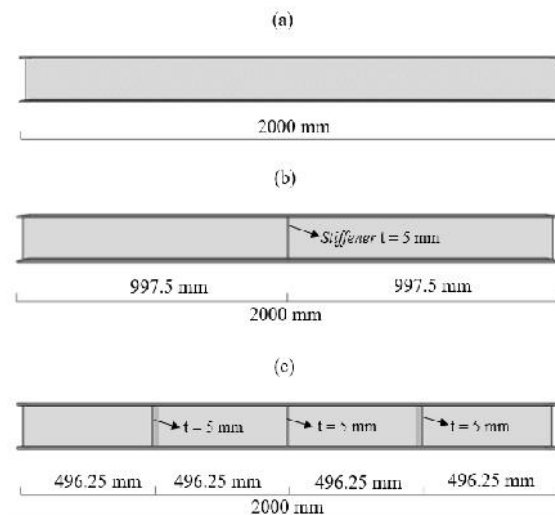
c. Hasil analisis

Setelah *LUSAS Solver* telah menyelesaikan analisis pada model, maka hasil analisis dapat dilihat pada *LUSAS Modeller*. Hasil yang dapat dilihat pada *LUSAS Modeller* dapat berupa perilaku deformasi, nilai, vector, kontur, serta diagram pada model. Pada *LUSAS Modeller* juga dapat dianalisis tegangan, regangan, perpindahan, pembebanan, dan reaksi pada model.

C. METODE PENELITIAN

1. Spesifikasi Elemen Balok Baja

Permodelan benda uji yang digunakan pada analisis ini menyesuaikan dengan *loading frame* di laboratorium. Profil yang digunakan adalah profil IWF dimensi 150x75x5x7 yang dibuat 3 model dengan masing-masing model dengan bentang 2 m. Benda uji model tipe 1 tanpa *stiffener*, model tipe 2 dengan satu *stiffener* pada $\frac{1}{2}$ bentang dan model tipe 3 dengan *stiffener* pada $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ bentang. Bentuk benda uji dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Bentuk benda uji
 (a) alternatif 1
 (b) alternatif 2
 (c) alternatif 3

2. Permodelan Geometri Balok Baja pada Program *Lusas V.18*

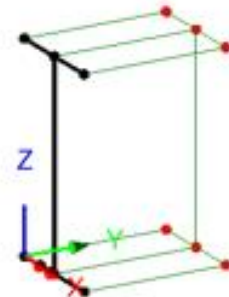
Berikut merupakan tahapan yang diperlukan dalam menganalisis model elemen balok baja yaitu:

- Membuka *software LUSAS V18* dan memilih fitur *Civil & Structural plus*. Kemudian memilih fitur *new model* kemudian mengisi nama *file*. Pada *Analysis tipe* pilih *structure* dan *analysis category* yang digunakan adalah 3D. Satuan pada model unit N,mm,t,s,C dan *Timescale units* yang digunakan adalah *hours*. Gambar menunjukkan gambar *New model* yang terdapat pada perangkat lunak *LUSAS*. Permodelan balok baja dapat dilihat pada Gambar 6.



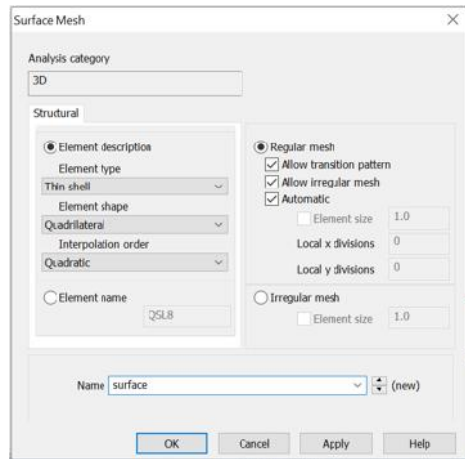
Gambar 6. Permodelan balok baja

- Membuat koordinat geometri balok baja dengan dimensi yang telah direncanakan dengan memilih fitur *line* memasukkan data koordinat x,y dan z. Pembuatan geometri dapat dilihat pada Gambar 7.



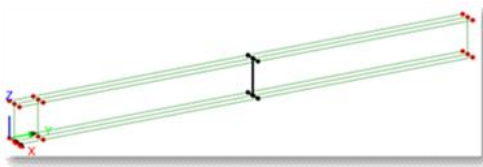
Gambar 7. Langkah 2 koordinat geometri

- Membuat *mesh* (jaringan) dibuat dengan menu *attributes* pada balok, yang pertama memilih *mesh*. Tipe *surface mesh* yang digunakan berupa *Thin shell*. Bentuk elemen yang digunakan *quadrilateral* dan model interpolasi digunakan *quadratic*. Permodelan jaringan balok baja dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Langkah 3 permodelan jaringan balok baja

- d. Pembuatan model profil pada balok pada pada menu *attributes*, yang pertama pilih *geometric*, kemudian pilih *surface*. Kemudian ukuran pada *surface* dimasukkan sesuai data profil yang digunakan. Permodelan profil dapat dilihat pada Gambar 9.



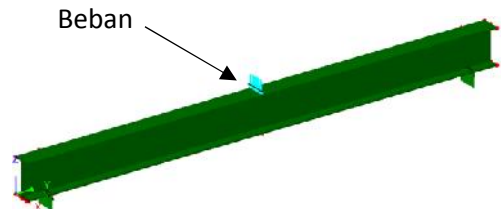
Gambar 9. Permodelan Profil Pada Balok Baja

- e. Untuk material dibuat pada menu *attributes*. Jenis material yang digunakan yaitu jenis *isotropic* karena diasumsikan sifat material yang digunakan sama semua arah. Permodelan material balok baja dapat dilihat pada Gambar 10.

	Value
Young's modulus	200.0E3
Poisson's ratio	0.3
Mass density	7.85E-9

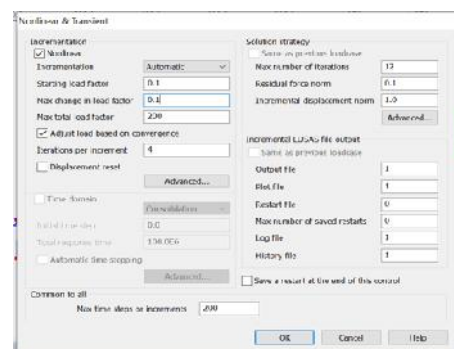
Gambar 10. Permodelan material balok baja

- f. Untuk pembebanan dibuat pada menu *attributes* dan memilih *loading* kemudian pilih *Global Distributed*. Kemudian isi data pembebanan. Pembebanan balok baja dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Pembebanan balok baja

- g. Kemudian menginput data-data yang telah dimasukkan pada langkah-langkah sebelumnya. Menginput dilakukan dengan cara memblok balok baja kemudian men-*drag* data ke dalam gambar.
- h. Mengatur analisis yang digunakan pada balok baja berupa analisis nonlinear. Analisis nonlinear diatur dengan *starting load factor* yaitu 0,1 dikarenakan asumsi pembebanan awal yaitu 0,1 kali beban yang dimasukkan. Pada *max change in load factor* diisi 1 kali beban yang dimasukkan. Maksimum pembebanan adalah 200 kali beban yang diberikan sehingga jumlah *step increment* sebanyak 200 langkah. Data analisis nonlinear dapat dilihat pada Gambar 12.

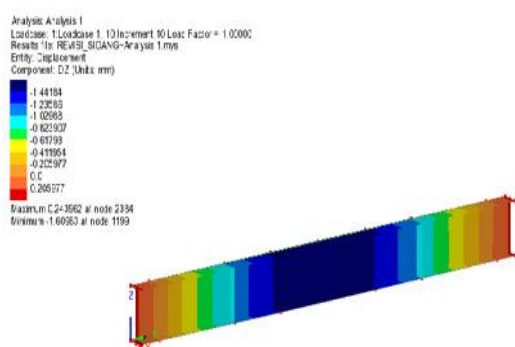


Gambar 12. Data analisis nonlinear

- i. Menjalankan analisis pada balok baja dijalankan dengan mengklik *solve now*. Hasil analisis kemudian dapat dilihat pada layers berupa kontur, vector, perubahan bentuk, diagram dan nilai.

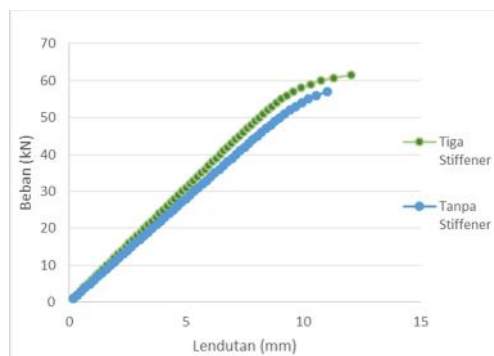
D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut merupakan hasil dari analisis balok baja menggunakan *Lusas V.18*. Hasil penurunan didapatkan dari pemberian beban pada program perangkat lunak *Lusas* berupa gambar kontur dengan warna yang bermacam-macam. Bentuk penurunan yang dihasilkan program *Lusas* berbeda-beda pada posisinya masing masing. Warna yang bervariasi pada balok baja menjelaskan nilai yang berbeda-beda. Keterangan warna dari kontur deformasi dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Deformasi balok baja setelah pembebanan

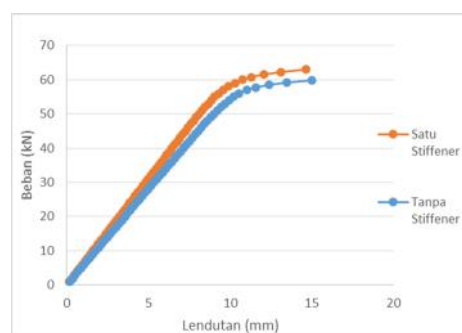
Pada gambar diatas terlihat kontur penurunan yang dihasilkan oleh *running* program *LUSAS V.18* dapat diperhatikan keterangan biru tua menjadi nilai terendah dan nilai merah menjadi nilai tertinggi. Pada hasil *running* ini didapat nilai penurunan maksimum pada *increment* 10 yaitu sebesar 0.244 mm kemudian semakin ke bawah nilai keruntuhan semakin menurun dengan nilai -1.609 mm.



Gambar 14. Beban vs lendutan balok tanpa dan satu *stiffener*

Berdasarkan Gambar 14 dapat dilihat bahwa perbedaan lendutan yang terjadi pada balok baja tanpa *stiffener* dan yang diberi *stiffener*, yang mana lendutan balok baja tanpa *stiffener* lebih besar dari balok baja yang ditambah *stiffener*. Balok baja tanpa *stiffener* pada beban 55 kN diperoleh lendutan 10.24 mm. Balok baja dengan satu *stiffener* pada beban 55 kN diperoleh lendutan 9.07 mm. Dari grafik dapat dilihat peningkatan yang terjadi antara balok tanpa *stiffener* dengan balok satu *stiffener* yaitu 9.76%.

Berdasarkan Gambar 15 dapat dilihat bahwa balok baja tanpa *stiffener* pada beban 55 kN memiliki lendutan 10.24 mm. Balok baja dengan tiga *stiffener* pada beban 55 kN diperoleh lendutan 9.06 mm. Peningkatan yang terjadi antara balok tanpa *stiffener* dengan balok satu *stiffener* yaitu $\pm 9.79\%$.



Gambar 15. Beban vs lendutan balok tanpa dan tiga *stiffener*

Setelah didapatkan data beban dan lendutan maka dapat dilakukan perhitungan kekakuan balok baja. Perhitungan kekakuan balok baja menggunakan beban dan lendutan. Kekakuan merupakan perbandingan antara beban dengan lendutan pada saat balok baja dalam keadaan elastis atau dapat diidentifikasi sebagai kemiringan garis grafik hubungan beban dan lendutan.

Dari data yang telah didapatkan maka kekakuan rata-rata balok baja tanpa *stiffener* yaitu sebesar 5,59 kN/mm. Balok baja satu *stiffener* memiliki kekakuan rata-rata sebesar 6,190 kN/mm. Sedangkan balok baja tiga *stiffener* mempunyai kekakuan sebesar 6,20 kN/mm. Persentase selisih nilai kekakuan antara balok tanpa *stiffener* dengan balok satu *stiffener* yaitu sebesar 10,81 %. Persentase selisih nilai kekakuan antara balok tanpa *stiffener* dengan balok tiga *stiffener* yaitu sebesar 10,84 %. Dapat dilihat bahwa balok baja dengan penambahan *stiffener* lebih kaku dibandingkan dengan balok baja tanpa *stiffener*. Berdasarkan analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa balok baja yang diberi *stiffener* lebih kaku dibandingkan dengan balok tanpa *stiffener*.

E. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang dilakukan terhadap benda uji tanpa menggunakan *stiffener* dan dengan *stiffener* didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan *stiffener* pada balok baja dapat memperkecil lendutan yang terjadi pada balok. Dimana balok baja tanpa *stiffener* memiliki lendutan yang lebih besar dari pada balok baja diberi *stiffener*. Peningkatan yang terjadi antara balok tanpa *stiffener* dengan balok satu *stiffener* yaitu $\pm 9.76\%$. Peningkatan yang terjadi pada balok

tanpa *stiffener* dengan balok tiga *stiffener* yaitu $\pm 9.79\%$. Dapat disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah *stiffener* maka lendutan yang terjadi akan semakin kecil.

2. Penambahan *stiffener* pada balok baja dapat meningkatkan kekakuan balok. Peningkatan nilai kekakuan antara balok tanpa *stiffener* dengan balok satu *stiffener* yaitu sebesar 10,81 %. Peningkatan nilai kekakuan antara balok tanpa *stiffener* dengan balok tiga *stiffener* yaitu sebesar 10,84 %. Dapat dilihat bahwa balok baja dengan penambahan *stiffener* lebih kaku dibandingkan dengan balok baja tanpa *stiffener*. Semakin banyak jumlah *stiffener* maka balok baja akan semakin kaku.

DAFTAR PUSTAKA

- Aminullah, Taufik, S., & Barkiah, I. (2014). Pengaruh Penambahan Pengaku Vertikal Terhadap Kuat Lentur Balok Baja Profil I. *Jurnal Teknologi Berkelanjutan (Sustainable Technology Journal)*, 3(2), 71–81.
- Lukman, V. H. (2014). Analisis Metode Elemen Hinggapengaruh Pengaku Miring Terhadap Peningkatan Momen Kritis Tekuk Torsi Lateral. *E-Journal Graduate Unpar*, 1(2), 111–124.
- Oliver, J. (2014). Studi Analisis Perbandingan Baja Profil Wf (Wide Flange) Menggunakan Metode Allowable Stress Design (Asd) Dan Load And Resistance Factor Design (Lrfd) Dengan Model Struktur Gable Frame Pada Relokasi Pasar Blimbing Malang. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Siregar, D. S., & Panjaitan, S. (2020). Analisa Pengaku (*Stiffener*) Pada Balok Baja Iwf Akibat Torsional Buckling. *Buletin Utama Teknik*, 15(2).

Sundar, T., Soehardjono, A., & Wisnumurti, W. (2017). Perilaku Balok Baja I Non Prismatis (Tapered Beam). *Rekayasa Sipil*, 11(2),142–148.

<https://doi.org/10.21776/ub.rekayasaipil/2017.011.02.8>

Windah, R. S., & Pandaleke, R. (2019). Perhitungan Lendutan Balok Taper Kantilever Dengan Menggunakan Sap2000. *Jurnal Sipil Statik*, 7(8), 1039–1048.



© 2021 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).