

Studi Analisis Perilaku Jembatan Pejalan Kaki dengan Sambungan Sekrup dan Adhesive pada Cold-Formed Steel

Richo Oktavian Indarto^{1,*}, Budi Suswanto¹

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya¹

Koresponden*, Email: oktavian_richo@yahoo.co.id

Info Artikel		Abstract
Diajukan	1 Agustus 2019	<p><i>Pedestrian Bridge is currently built in the city center of Indonesia. Generally, Pedestrian Bridge was built for connecting one to the other building and serve crossing bridge for the traffic. Therefore, design of the bridge must be considered of the function. Steel frame bridge (Hot Rolled) is one of the type bridge materials that used in Indonesia because the structure, the availability materials and the easy installation. Mild steel frame structure is one of the materials which used in the construction of pedestrian bridge. Its connected with plates, screws or adhesive. This research analyzed mild steel frame structure connected with screws and adhesive. Modeling of the pedestrian bridge used 4800 x 750 x 1200 mm. Comparison of the analysis used auxiliary program ABAQUS and SAP2000. The result of the analysis by ABAQUS is able to hold the force into 1003,69 kg and 1312,96 kg.</i></p>
Diperbaiki	5 Agustus 2019	
Disetujui	5 Agustus 2019	

Keywords: adhesive, bridge, cold formed steel, modelling

Abstrak

Jembatan Pejalan Kaki saat ini mulai banyak dibangun di Indonesia. Pada umumnya jembatan dibangun sebagai sarana penghubung dari satu bangunan ke bangunan lainnya dan berfungsi sebagai jembatan penyeberangan lalu lintas. Dalam perancangan jembatan sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknis, beban dinamis dan estetika arsitektural. Jembatan rangka baja (*Hot Rolled*) merupakan salah satu bahan jembatan yang banyak digunakan di Indonesia karena bentuk strukturnya, ketersediaan material dan kemudahan pemasangannya di lapangan. Struktur rangka baja ringan merupakan salah satu pilihan material yang digunakan dalam membuat konstruksi jembatan pejalan kaki dengan penyambungan pelat, sekrup, maupun *adhesive*. Penelitian ini menganalisa struktur rangka baja ringan menggunakan sambungan sekrup dan *adhesive*. Pemodelannya menggunakan ukuran jembatan pejalan kaki sebesar 4800 mm x 750 mm x 1200 mm. Perbandingan analisis dengan program bantu SAP2000 dan ABAQUS. Hasil analisis dengan ABAQUS mampu menahan gaya sampai 1003,69 kg dan 1312,96 kg.

Kata kunci: adhesive, cold formed steel, jembatan, pemodelan

1. Pendahuluan

Jembatan merupakan bagian dari jalan (penghubung) yang diperlukan dalam sistem jaringan transportasi yang nantinya akan menunjang pembangunan pada suatu daerah. Berikut data perkembangan pembangunan jembatan di Indonesia yang terangkum pada **Tabel 1**.

Dalam perancangan jembatan sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknis dan estetika arsitektural yang meliputi: aspek lalu lintas, aspek teknis dan aspek estetika[1].

Jembatan rangka baja (*Hot Rolled*) salah satu tipe perancangan jembatan yang digunakan di Indonesia karena bahan materialnya tersedia dan mudah pemasangannya di lapangan. Baja ringan memiliki berat jenis yang relatif ringan sehingga mudah untuk dibawa ke suatu tempat, dalam penggunaannya cukup cepat dan efisien secara waktu.

Tabel 1. Perkembangan Jumlah Pembangunan Jembatan di Indonesia

No.	Bentang (m)	Panjang		Jumlah	
		km	%	Buah	%
1	0-20	93,9	30	12,068	73
2	20-40	42,6	13	1,849	11
3	40-60	68,6	22	1,741	10
4	60-100	39,3	12	544	3
5	>100	71,8	23	385	2
		316,2	100	16,587	100

Sumber: Direktorat Bina Teknik, Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum 2007 [2]

Jembatan rangka baja (*Hot Rolled*) salah satu tipe perancangan jembatan yang digunakan di Indonesia karena bahan materialnya tersedia dan mudah pemasangannya di lapangan. Baja ringan memiliki berat jenis yang relatif ringan sehingga mudah untuk dibawa ke suatu tempat, dalam penggunaannya cukup cepat dan efisien secara waktu.

Ketika rangka baja ringan menahan beban yang bekerja, pada bagian sambungan merupakan daerah yang paling rawan mengalami kegagalan terlebih dulu[3]. Penelitian sebelumnya sudah mempelajari tentang perkuatan pada sambungan yang dapat memberikan kontribusi pada struktur. Kontribusi pada struktur yaitu mengurangi lendutan sebesar 10,5% dan meningkatkan kemampuan menahan beban sebesar 15%[3]. Bentuk rangka jembatan baja ringan untuk pejalan kaki yang hanya menganalisis pada rasio berat dan lendutan pernah dilakukan oleh[4].

Sambungan merupakan suatu material yang digunakan untuk menyambung profil satu dengan profil lain pada suatu rangka material. Umumnya alat sambung yang digunakan adalah baut, sekrup, las, *adhesive* dan keling. Sambungan struktur baja ringan dengan menggunakan *adhesive* dapat meningkatkan kapasitas struktur yang signifikan menurut[5].

Pada penelitian sebelumnya [6] meneliti tentang beban kelompok meloncat dengan menggunakan analisis numerikal. Analisis ini didasarkan atas hasil eksperimen dari 64 orang yang meloncat secara kelompok dan individu. Figueiredo [7] mengembangkan model pembebanan yang akan mempengaruhi beban di JPO. Dilakukan studi dari beberapa jembatan penyeberangan orang dengan tipe komposit dengan panjang jembatan antara 10-35 meter.

Pada penelitian ini akan mencoba menggunakan sambungan sekrup dan *adhesive* sebagai salah alternatif rancang jembatan untuk pejalan kaki dengan *cold-formed steel*. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan rancang rangka struktur baja ringan dalam konstruksi jembatan pejalan kaki.

1. Metode

Penelitian ini menggunakan studi literatur sebagai acuan, studi literatur dilakukan untuk mengetahui lebih jauh tentang pengaruh beban dinamis manusia terhadap struktur jembatan baja ringan seperti transfer gaya-gaya dalam yang bekerja pada hubungan sistem sambungan, model kegagalan sambungan sekrup dan *adhesive*, perilaku sambungan pada struktur jembatan baja ringan. Hasil dari studi literatur dapat dijadikan sebagai acuan terhadap detail permasalahan penelitian yang akan dibahas, terutama analisis kegagalan struktur pada sambungan sekrup dan *adhesive*. Hasil dari analisis berupa gaya dan perpindahan yang sesuai dengan ketentuan[8], kemudian diverifikasi dengan menggunakan program bantu ABAQUS.

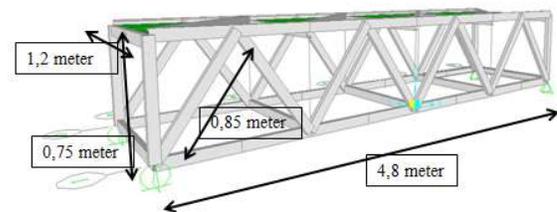
Preliminary design yang dilakukan mencakup pada perencanaan dimensi struktur, perencanaan model tipe jembatan, dan perencanaan sambungan kombinasi sekrup dan *adhesive* hingga pada kontrol kapasitas sambungan.

Adhesive adalah bahan yang digunakan untuk menahan setidaknya dua permukaan secara bersama-sama dengan kuat dan permanen. Sifat yang harus dimiliki bahan *adhesive* adalah harus mampu membasahi seluruh permukaan, mampu melekat pada permukaan, dan mampu menahan beban ketika diberi suatu gaya. Bahan baku untuk perekat biasanya terbuat dari polimer, baik polimer alam maupun sintesis[9].

Try and error pada pemodelan dibuat guna untuk mengetahui desain yang paling efektif, ringan, dan yang paling mudah untuk diterapkan dalam eksperimental atau membuat benda uji.

Data spesifikasi desain jembatan sebagai berikut:

- Model yang dipilih : Model 1
- Bentang jembatan : 4,8 meter
- Lebar jembatan : 1,2 meter
- Jenis jembatan : *Deck Type Truss*
(jembatan rangka baja ringan, lantai kerja terletak di bagian atas konstruksi pemikul utama)
- Lantai kerja : Pelat Multiplek
setebal 12 mm
- Tinggi rangka : 0,75 meter
- Tumpuan / perletakan : Sendi dan roll
- Sambungan : Sekrup dan *adhesive*



Gambar 1. Desain Model Struktur Jembatan

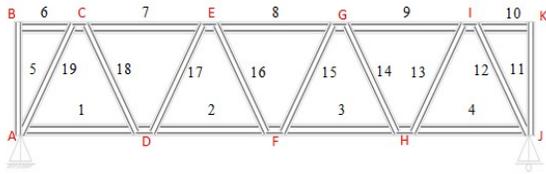
Sumber: Hasil Analisis

2. Hasil dan Pembahasan

Pemodelan yang digunakan pada analisa penelitian ini adalah SAP2000 V.14.2.2 secara 3D dari data pengujian tarik baja ringan yang telah dilaksanakan oleh Sumaidi, Komara dan Santoso [10-12] dengan data spesifikasi dan dimensi baja ringan diambil sesuai data eksperimental.

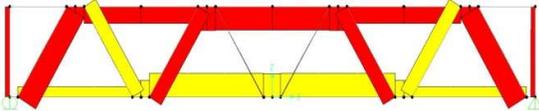
Program bantu SAP2000 membantu dalam menganalisis nilai-nilai pembebanan dan kombinasi pembebanan yang kemudian muncul nilai gaya-gaya yang terjadi pada struktur jembatan pejalan kaki.

Setelah menghitung besar gaya yang terjadi, cek kapasitas yang dimulai dari cek kapasitas geser dan tarik kemudian cek kontrol lendutan yang terjadi pada struktur jembatan pejalan kaki yang awal desain menggunakan beban sebesar 1860 kg dan 1800 kg dari data eksperimental [12]. Dari SAP2000 bisa diketahui besaran lendutan yang terjadi.



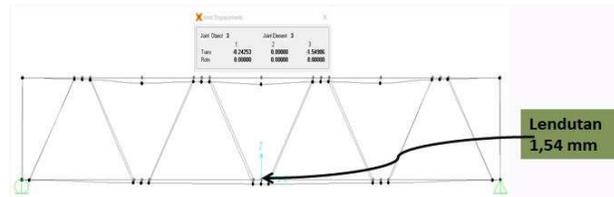
Gambar 2. Penomoran Rangka Utama Jembatan Pejalan Kaki

Sumber: Hasil Analisis



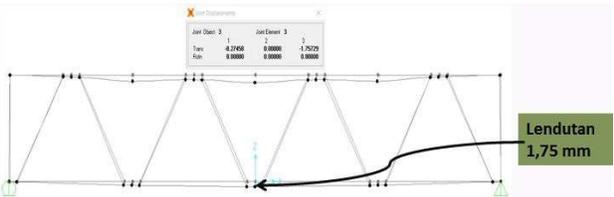
Gambar 3. Gaya Aksial pada Rangka Utama Jembatan Pejalan Kaki

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 4. Lendutan pada Jembatan Pejalan Kaki Beban 1860 kg.

Sumber: Hasil Analisis



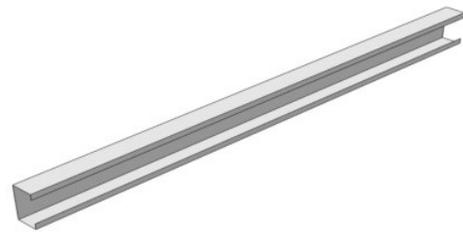
Gambar 5. Lendutan pada Jembatan Pejalan Kaki Beban 1800 kg.

Sumber: Hasil Analisis

Dari gambar diatas jembatan pejalan kaki terjadi lendutan sebesar 1,75 mm. Sedangkan standar maksimum lendutan yang diperbolehkan terjadi sebesar 5 mm. Maka lendutan sebesar 1,75 mm dan 1,54 mm < 5 mm (lendutan ijin) jadi bisa dikatakan bahwa jembatan pejalan kaki layak secara lendutan yang diijinkan telah memenuhi.

Metode Finite Element

Pemodelan dengan metode *Finite Element* bisa dilakukan dengan program bantu ABAQUS dengan bentuk shell 3D. Bentuk *part* berupa *shell* dengan material baja ringan.



Gambar 6. *Typikal* Batang Baja Ringan pada ABAQUS

Sumber: Hasil Analisis

Setelah pembuatan *part* untuk baja ringan, maka tahap selanjutnya sebelum dilakukan tahap pembebanan terlebih dahulu *Assembly*.



Gambar 7. *Assembly* Bentang Struktur dari Jembatan Pejalan Kaki

Sumber: Hasil Analisis

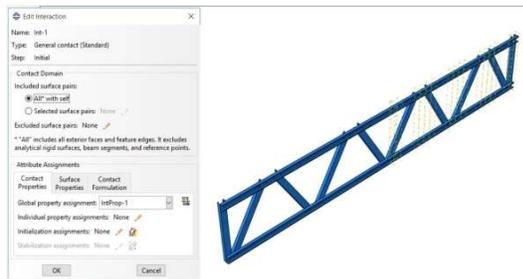
Setelah membuat model *step* sebagai asumsi awal menentukan jenis pembebanan yang digunakan pada program Abaqus. Penentuan jenis tumpuan pada model atau disebut *boundary condition*.



Gambar 8. Perletakan *Boundary Condition* pada Model

Sumber: Hasil Analisis

Interaksi pada pemodelan ini tidak dilakukan satu per satu antar sambungan melainkan dibuat *solid* atau satu kesatuan untuk semua sambungan pada pemodelan. Dikarenakan ketika dibuat tidak *solid* pada proses *running* program bantu ABAQUS yang mengutamakan proses elemen hingga akan mengalami *aborted* atau gagal *running*.



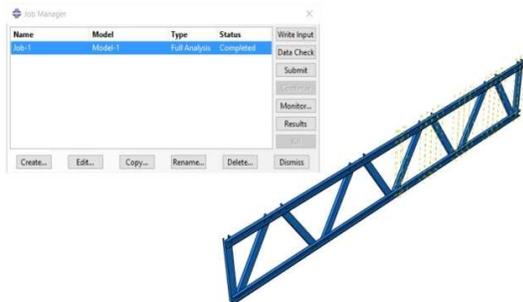
Gambar 9. Interaksi Secara Keseluruhan pada Batang
Sumber: Hasil Analisis

Tahap selanjutnya setelah pemilihan interaksi maka memilih modul *mesh*.



Gambar 10. Assembly dalam Bentuk Mesh.
Sumber: Hasil Analisis

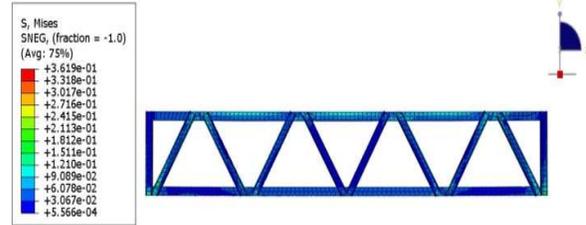
Tahap terakhir yaitu menganalisis pemodelan agar menjadi sebuah hasil analisa numerik atau angka. Proses *Job* memiliki beberapa langkah yaitu dari data check hingga menjadi sebuah *results*. Namun akan ada memberitahukan apabila proses data check ataupun proses *submit* berupa hasil *completed* atau *aborted*.



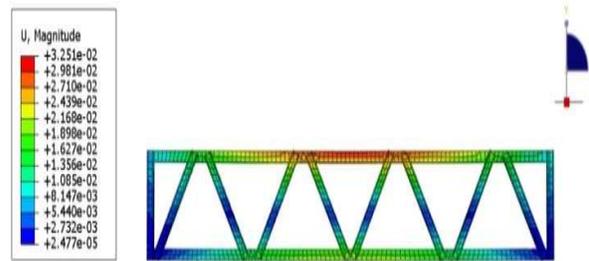
Gambar 11. Modul Job pada Program ABAQUS Melihat Nilai *S Mises* dan *U Magnitude*
Sumber: Hasil Analisis

Ketika akan memulai menu *Job* perlu memilih menu Data Check terlebih dahulu guna mengecek secara keseluruhan pemodelan yang akan di *running/submit*.

Setelah proses *running/submit* berhasil maka dengan mudah bisa melihat hasil nilai *S Mises* dari analisis struktur rangka jembatan.

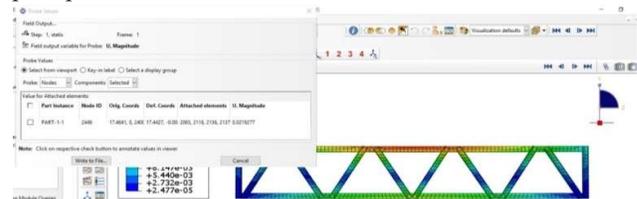


Gambar 12. Hasil *S Mises* pada Struktur Rangka Jembatan
Sumber: Hasil Analisis



Gambar 13. Hasil *U Magnitude* pada Struktur Rangka Jembatan
Sumber: Hasil Analisis

Dari gambar diatas terdapat nilai sebesar 2,19 mm yaitu nilai lendutan yang terjadi pada struktur rangka jembatan pejalan kaki. Setelah diberi pembebanan secara menyeluruh pada posisi batang atas horisontal secara menyeluruh. Hasil dari nilai *U Magnitude* ini akan digunakan sebagai acuan perbandingan antara hasil eksperimental, hasil analisis dengan program bantu SAP2000 dan program bantu ABAQUS. Cek titik node pada struktur rangka yaitu pada node tengah bawah bentang karena lendutan terbesar terjadi pada posisi tersebut.



Gambar 14. Lendutan pada Titik Node Struktur Rangka Jembatan
Sumber: Hasil Analisis

Definisi Material dan Assembly

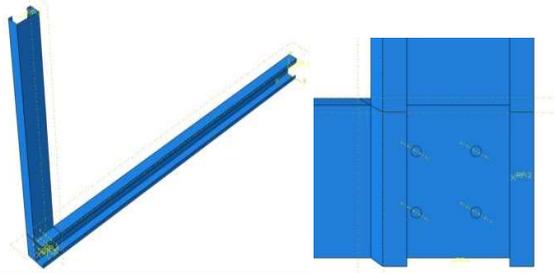
Pada sambungan huruf B antara batang nomor 5 dan 6 yang akan dianalisis untuk mengetahui seberapa besar kekuatan sambungan. Material baja ringan, sekrup dan *adhesive* didefinisikan pada program ABAQUS. Ada beberapa step material yang harus di isi untuk membuat

definisi material diantara lain *density*, *elastic* dan *plastic*. Parameter material yang digunakan ada pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Teknis Material CFS, Screw dan Adhesive

<i>Cold-Formed Steel</i>	
<i>Density</i>	
<i>Mass Density (kg/m3)</i>	7850
<i>Elastic</i>	
<i>Young's Modulus (MPa)</i>	200000
<i>Poisson's Ratio</i>	0.3
<i>Plastic</i>	
<i>Yield Stress (MPa)</i>	643.85 ; 720
<i>Plastic Strain (MPa)</i>	0 ; 0.0658
<i>Screw</i>	
<i>Density</i>	
<i>Mass Density (kg/m3)</i>	7850
<i>Elastic</i>	
<i>Young's Modulus (MPa)</i>	200000
<i>Poisson's Ratio</i>	0.3
<i>Plastic</i>	
<i>Yield Stress (MPa)</i>	500 ; 550
<i>Plastic Strain (MPa)</i>	0 ; 0.0025
<i>Adhesive</i>	
<i>Density</i>	
<i>Mass Density (kg/m3)</i>	1950
<i>Elastic</i>	
<i>Young's Modulus (MPa)</i>	5000
<i>Poisson's Ratio</i>	0.28
<i>Plastic</i>	
<i>Yield Stress (MPa)</i>	22.7
<i>Plastic Strain (MPa)</i>	0

Proses *Assembly* ini dilakukan untuk membuat pemodelan sesuai dengan desain yang sudah dibuat, yaitu berupa penggabungan antara batang vertikal dan horisontal dengan penyambungan menggunakan sekrup dan *adhesive*.

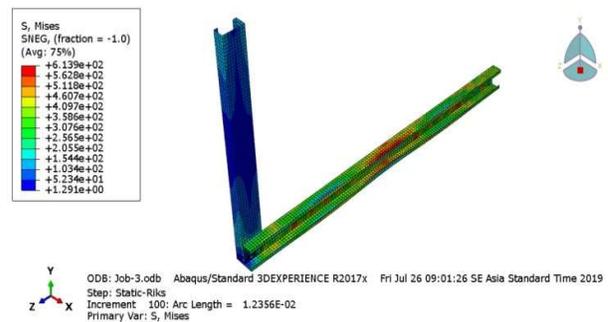


Gambar 15. *Assembly* Sambungan Baja Ringan dengan Sekrup
 Sumber: Hasil Analisis



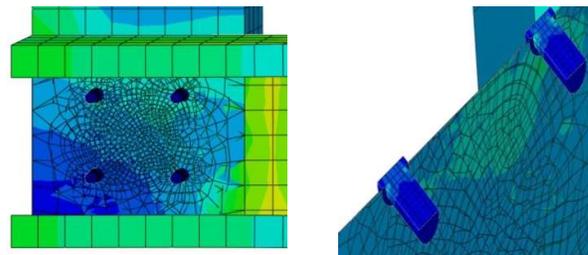
Gambar 16. *Assembly* Sambungan Baja Ringan dengan Sekrup dan *Adhesive*.
 Sumber: Hasil Analisis

Tahap akhir dari analisis elemen hingga dengan program bantu ABAQUS yaitu menunjukkan perilaku yang terjadi antara baja ringan dan sekrup serta *adhesive*.



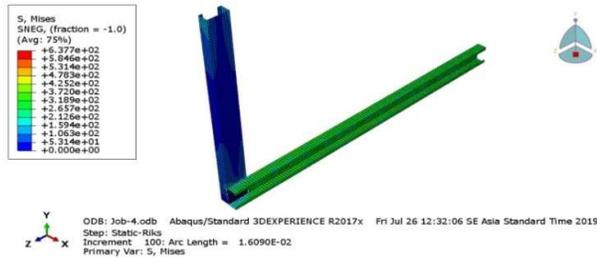
Gambar 17. Hasil S Mises Step 100 Model Sambungan Baja Ringan dengan Sekrup
 Sumber: Hasil Analisis

Pada analisis jenis sambungan sekrup ketika step 100 menghasilkan perilaku lebih besar pada batang horisontal sedangkan pada batang vertikal hanya pada bagian ujungnya saja.



Gambar 18. Detail Hasil S Mises Step 100 dan Contour Specify Sekrup
 Sumber: Hasil Analisis

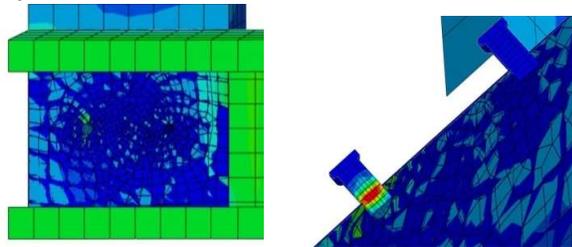
Berikut penyajian detail hasil analisis jenis sambungan sekrup saja dengan jumlah sekrup 4 buah, mengalami perilaku hanya pada ujung/kepala sekrup.



Gambar 19. Hasil S Mises Step 100 Model Sambungan Baja Ringan Dengan Sekrup dan *Adhesive*.

Sumber: Hasil Analisis

Sedangkan pada jenis sambungan sekrup dan *adhesive* juga mengalami perilaku pada batang horisontal namun tidak sebesar pada jenis sambungan yang menggunakan sekrup saja.

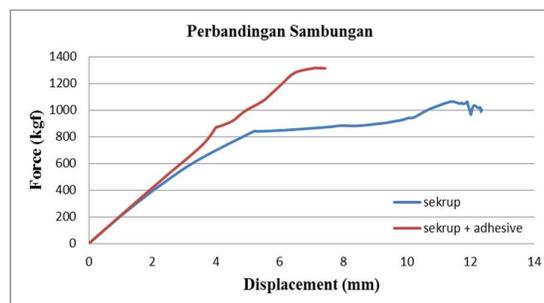


Gambar 20. Detail Hasil S Mises Step 100 dan Contour Specify Sekrup+*Adhesive*

Sumber: Hasil Analisis

Detail pada analisis sambungan sekrup dan *adhesive* terdapat kerusakan terutama pada perilaku badan sekrup yang lebih dahulu mengalami kerusakan/patah.

Pemodelan yang sudah dilakukan diatas yaitu berupa 2 jenis sambungan antara sambungan baja ringan dengan sekrup (CFS-S) dan sambungan baja ringan dengan sekrup dan *adhesive* (CFS-S+A). Hasil dari 2 sambungan diatas menghasilkan gaya (*force*) dan perpindahan (*displacement*) seperti gambar di bawah ini.

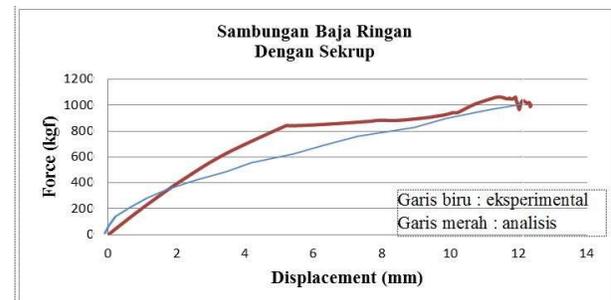


Gambar 21. Grafik Pertbandingan Sambungan Baja Ringan Dengan Sekrup (CFS-S) dan Sambungan Baja Ringan Dengan Sekrup + *Adhesive* (CFS-S-A)

Sumber: Hasil Analisis

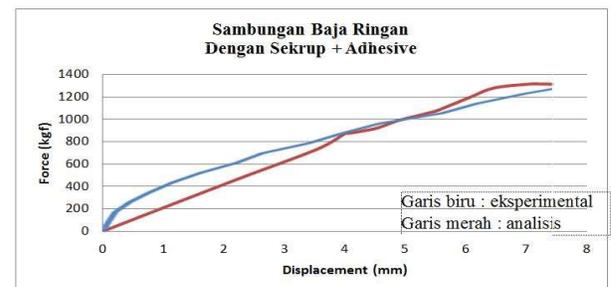
Dari Gambar 21 diatas dapat diambil garis besar kesimpulan bahwa jenis sambungan sekrup+*adhesive* mengalami perkakuan lebih besar daripada sambungan sekrup. Meskipun dengan mengurangi jumlah sekrup sebesar 50% dari jumlah sambungan sekrup saja, sambungan sekrup+*adhesive* lebih kaku dan daktil.

Setelah dilakukan perbandingan sambungan baja ringan antara sekrup dan sekrup + *adhesive*, maka selanjutnya ditinjau untuk perbandingan antara studi eksperimental sebelumnya yang telah dilakukan walaupun ada perbedaan pada pemodelan yang sebelumnya berupa plat baja ringan dan rangka atap. Setelah diplotkan 2 grafik perbandingan antara studi eksperimental dan studi analisis sehingga dapat ditarik perbedaan persentase berupa penurunan atau penaikan.



Gambar 22. Grafik Perbandingan Sambungan Baja Ringan dengan Sekrup (CFS-S) Antara Eksperimental dan Analisis

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 23. Grafik Perbandingan Sambungan Baja Ringan dengan Sekrup + *Adhesive* (CFS-S+A) Antara Eksperimental dan Analisis

Sumber: Hasil Analisis

Pada Gambar 22 dan 23 terdapat selisih dikarenakan perbedaan uji eksperimental dan analisis yaitu pada parameter sekrup yang digunakan dikarenakan pada pemodelan sekrup tidak bisa dibuat secara ril berupa sekrup *drilling*. Pada sambungan baja ringan dengan sekrup terjadi selisih prosentase sebesar 16,35% yang termasuk dalam kategori penurunan *force* dan *displacement*. Sebaliknya pada sambungan baja ringan dengan sekrup + *adhesive* terdapat

selisih prosentase hanya sebesar 6,21% yang pada gambar grafik dalam kategori penaikan/kenaikan elastis. Secara garis besar grafik sambungan keduanya dari studi analisis terjadi perilaku plastis, yang dimana nilai plastis yang didapat pada sambungan sekrup + *adhesive* lebih panjang. Jadi kombinasi sambungan sekrup + *adhesive* dapat dijadikan alternatif sambungan yang dapat meningkatkan kemampuan plastis pada sambungan baja ringan.

3. Simpulan

Dari analisis diatas dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil perilaku yang terjadi pada struktur rangka jembatan pejalan kaki dengan program bantu ABAQUS tidak mengalami kondisi leleh pada elemen baja ringan. Karena elemen baja ringan mengalami tekuk terlebih dahulu setelah diberi pembebanan secara menyeluruh.
2. Lendutan yang terjadi dari SAP2000 sebesar 1,75 mm sedangkan pada ABAQUS 6.17 sebesar 2,19 mm. Apabila dideskripsikan yaitu kerusakan terjadi pada sisi struktur batang atas jembatan pejalan kaki karena penampang horisontal yang terlebih dahulu terkena beban dari atas. Sedangkan struktur batang lainnya menerima penyaluran beban dari atas penampang utama.
3. Hasil perbandingan sambungan baja ringan dengan sekrup menunjukkan perilaku dapat menahan gaya sampai 1003,69 kg sedangkan pada sambungan baja ringan dengan sekrup + *adhesive* yang hanya sebesar 1312,96 kg. Namun pada kedua sambungan ini terdapat perbedaan perilaku yang dimana sambungan sekrup + *adhesive* lebih kaku sehingga sambungan lebih besar menerima gaya atau beban yang diterima. Perbandingan hasil eksperimental dan analisis sambungan baja ringan terdapat selisih dikarenakan perbedaan uji eksperimental dan analisis yaitu pada parameter sekrup yang digunakan dikarenakan pada pemodelan sekrup tidak bisa dibuat secara ril berupa sekrup *drilling*. Terjadi selisih prosentase sebesar 16,35% yang termasuk dalam kategori penurunan *force* dan *displacement*. Sebaliknya pada sambungan baja ringan dengan sekrup + *adhesive* terdapat selisih prosentase hanya sebesar 6,21% yang pada gambar grafik dalam kategori penaikan/kenaikan elastis.

Daftar Pustaka

- [1] B. Supriyadi and A. S. Muntohar, *Jembatan*. Yogyakarta: Beta Offset, 2007.
- [2] F. Sukmana and H. Vaza, "Jembatan Indonesia : Sekarang dan Mendatang," Jakarta, 2016.
- [3] L. Susanti *et al.*, "Rangka Canai Dingin Terhadap

- [4] A. N. Refani, "Studi Alternatif Bentuk Rangka Jembatan Canai Dingin Untuk Pejalan Kaki Bentang Kecil Terhadap Rasio Berat dan Lendutan," *J. Apl. Tek. Sipil*, vol. 15, no. 1, p. 25, 2017.
- [5] S. N. R. Anwar, "Kinerja Aksial dan Lentur Sambungan Adhesive Pada Struktur Baja Ringan," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS), 2016.
- [6] B. R. Ellis and T. Ji, "Load Generated by Jumping Crowds : Numerical Modelling," *Struct. Eng.*, vol. 81(6), pp. 20–27, 2004.
- [7] F. P. Figueiredo, J. G. S. da Silva, L. R. O. de Lima, P. C. G. da S. Vellasco, and S. A. L. de Andrade, "A parametric study of composite footbridges under pedestrian walking loads," *Eng. Struct.*, vol. 30, no. 3, pp. 605–615, Mar. 2008.
- [8] *SNI 7971-2013 Struktur Baja-Canai Dingin*. Jakarta, 2013.
- [9] J. Packer, "Symposium of Adhesive Technology, Polymer Group of the NZIC," 1990.
- [10] Sumaidi, "Perilaku Sambungan Geser Dengan Lem Pada Elemen Tarik Baja Ringan," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS), 2015.
- [11] I. Komara, "Studi Numerik Perilaku Sambungan Baut dan Adhesive Pada Struktur Rangka Atap Baja Ringan," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS), 2017.
- [12] W. A. Santoso, "Studi Eksperimental Sambungan Sekrup dan Adhesive Pada Struktur Atap Baja Ringan Dengan Variasi Tipe Rangka Kuda-Kuda," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS), 2019.

