

# Analisa Sistem *Clamp* pada Penggantung Jembatan Kutai Kartanegara dengan Metode Elemen Hingga

Sri Nur Oktavianto dan Faimun

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

*e-mail:* faimun@ce.its.ac.id

**Abstrak**—Kegagalan suatu struktur dapat terjadi akibat perubahan dan terkonsentrasinya gaya-gaya dalam diluar prediksi pada saat perencanaan. Sepertihalnya yang terjadi pada Jembatan Kutai Kartanegara (Kukar) yang merupakan jembatan bertipe *suspension* terpanjang yang dimiliki oleh Indonesia, mengalami keruntuhan pada saat proses pemeliharaan berlangsung. Penyebab runtuhnya Jembatan Kukar diperkirakan rusaknya bagian koneksi *clamp* yang disebabkan oleh terkonsentrasinya gaya akibat proses *jacking* salah satu *hanger* pada saat proses penyesuaian *camber* jembatan, selain itu korosi dari material yang digunakan juga ikut andil dalam hal ini. Salah satu metode yang bisa digunakan adalah *Finite Elemen Method* (FEM), metode numerik ini digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis dari suatu gejala phisis[1]. Untuk membantu proses simulasi diperlukan program bantu yang berbasis FEM. Dari hasil simulasi didapat gaya yang bekerja pada saat mengalami keruntuhan dan konsentrasi tegangan pada sistem *clamp*.

**Kata Kunci**— *Clamp*, Korosi, Program bantu berbasis FEM.

## I. PENDAHULUAN

PEMBANGUNAN jembatan bentang panjang di Indonesia sangat diperlukan mengingat wilayah Indonesia terdiri dari sungai-sungai besar, teluk-teluk, selat dan kepulauan, dan jembatan berfungsi sebagai penghubungnya. Jembatan teknologi kabel yang telah dibangun di Indonesia antara lain Jembatan Membramo (235m /1996), Barito (240m /1997), Kutai Kartanegara (270m /2001), Batam-Tonton (350m /1998). Satu dari keempat jembatan kabel tersebut mengalami keruntuhan tepatnya 26 November 2011 keruntuhan ini terjadi tepat pada saat proses pemeliharaan berlangsung.

Kegagalan suatu struktur dapat terjadi akibat perubahan dan terkonsentrasinya gaya-gaya dalam diluar prediksi pada saat perencanaan. Sepertihalnya yang terjadi pada Jembatan Kutai Kartanegara (Kukar) yang merupakan jembatan bertipe *suspension* terpanjang yang dimiliki oleh Indonesia, mengalami keruntuhan pada saat proses pemeliharaan berlangsung. Penyebab runtuhnya Jembatan Kukar diperkirakan rusaknya bagian koneksi kabel *hanger* dengan *clamp* yang disebabkan oleh terkonsentrasinya gaya akibat proses *jacking* salah satu *hanger* pada saat proses penyesuaian *camber* jembatan, selain itu material yang digunakan yaitu FCD-60 juga ikut andil dalam hal ini [2].

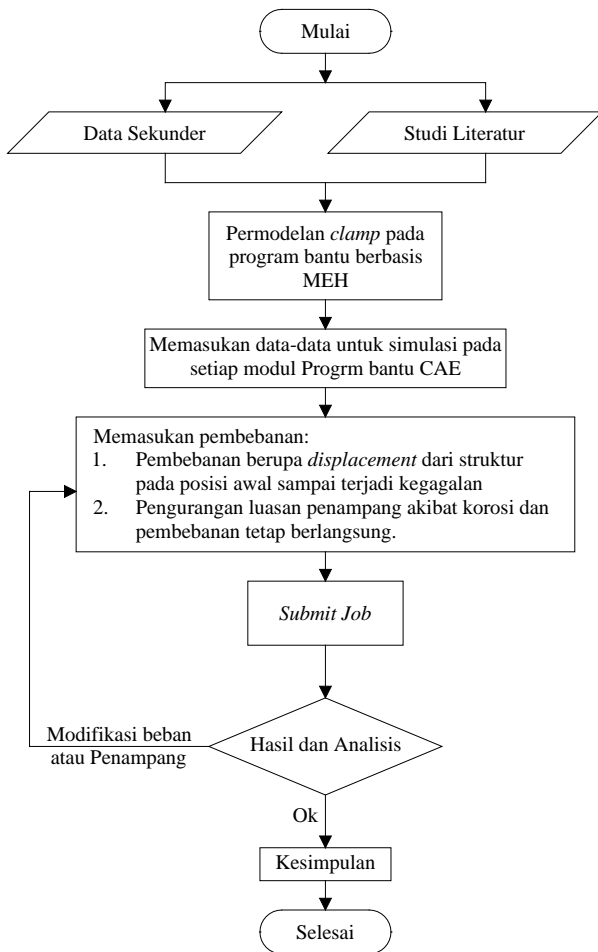
Material FCD-60 (*ferro cast dist*) atau besi cor/tuang yang digunakan sebagai material *clamp* merupakan material yang memiliki sifat getas dan tidak kuat menahan beban kejut. Penggunaan besi tuang sebagai material structural pada jembatan sebenarnya telah ditinggalkan sekitar pertengahan abad ke 19 [3]. Material FCD-60 ini tidak diperkenankan sebagai bagian penting dari jembatan bentang panjang, ini disebabkan oleh sifat getas dari material itu sendiri. Selain factor diatas kelemahan bahan ini juga mudah terkena korosi yang berdampak pada berkurangnya kekuatan dari material tersebut [4]. Kegagalan getas pada konstruksi penggantung ini dikemukakan berdasarkan pengamatan dari data sekunder yang didapat dari lapangan sesaat setelah Jembatan Kukar mengalami keruntuhan. Berdasarkan pengamatan ternyata sebagian besar pin *clamp* yang berfungsi menyambung kabel utama dengan *hanger* rusak, selain itu ada beberapa lengan *hanger* yang patah dan pin lengan *hanger* putus geser.

Adapun seharusnya komponen yang mengalami kegagalan terlebih dahulu adalah konstruksi *hanger* atau kabel vertikal jembatan (gantungan). Keruntuhan yang terjadi pun bukanlah keruntuhan getas, karena penggantung akan mengalami leleh terlebih dahulu yang mengakibatkan badan jembatan turun perlahan. Proses leleh pada material bahan ini yang mengakibatkan proses memanjangnya penggantung sebelum mengalami putus. Setelah putus, beban *hanger* yang putus itu masih bisa digantikan atau ditopang oleh *clamp* dan *hanger* di sisi kiri dan kanannya. Proses turun atau miringnya badan jembatan itu bisa terlihat oleh siapa saja yang berada di badan jembatan atau dek, atau orang-orang di sekitarnya. Itu bisa jadi semacam peringatan dini agar orang menghindari. Hal ini akan berbeda apabila kegagalan berawal dari putusnya *clamp*, meski hanya satu kalau itu terjadi konsentrasi gaya akan berpindah ke *hanger* dan *clamp* lainnya. Secara otomatis akan menyebabkan kegagalan secara kontinu terhadap struktur *hanger* dan *clamp* disampingnya yang bisa disebut sebagai efek domino. Kegagalan getas seperti ini dilarang dalam perencanaan suatu struktur [5].

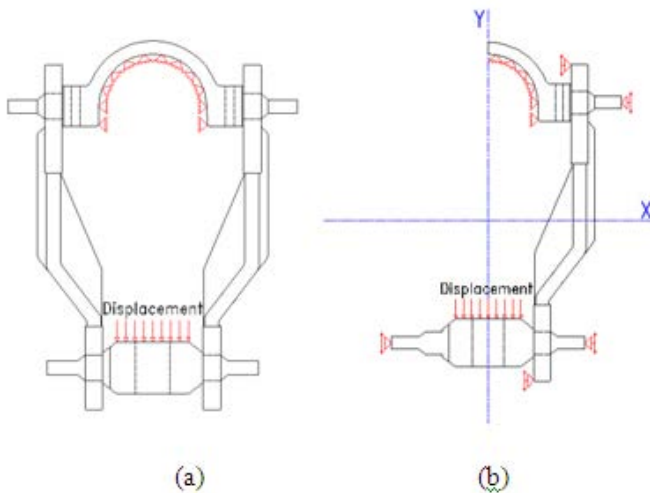
## II. METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan disini secara garis besar melalui proses sebagai berikut (Gambar 1-3):

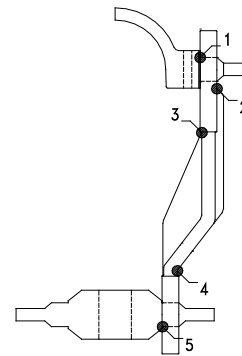
1. Studi literature dan data sekunder, permodelan *clamp*



Gambar 1. Flowchart Metodologi Penelitian



Gambar 2. (a) Geometri clamp eksisting dan (b) Geometri pemodelan simulasi



Gambar 3 Lonstruksi clamp

2. pada system penggantung jembatan suspension dengan program bantu berbasis MEH. Penulis melakukan studi literature sebagai landasan teori untuk membuat pemodelan dan menganalisis permasalahan.
3. Memasukkan data (*input file*) ke modul program dan di analisis (*proses running*). Data yang berupa sifat mekanik dimasukkan ke modul untuk dilakukan proses *running*.
4. Memasukkan beban dari analisa pembebanan yang terjadi pada saat dalam keadaan:
  - a. Berupa displacement dari struktur pada kondisi awal sampai dengan mengalami kegagalan.
  - b. Pengurangan luasan penampang akibat pengaruh korosi dilapangan.
5. Pembahasan Hasil dan Analisis, data hasil input dan simulasi selanjutnya dibahas dan dianalisis.

Kesimpulan, berisi tentang intisari yang dapat diambil setelah dilakukan penelitian.

### III. MEKANISME KOROSI PADA CLAMP

Korosi adalah salah satu dari penyebab utama kelemahan pada struktur atas jembatan baja. Korosi terjadi tidak hanya pada retak komponen, akan tetapi juga pada komponen yang mengalami lelah atau tekuk. Pengurangan luasan bersih pada komponen akan meningkatkan tegangan yang mampu ditahan saat diberikan beban.

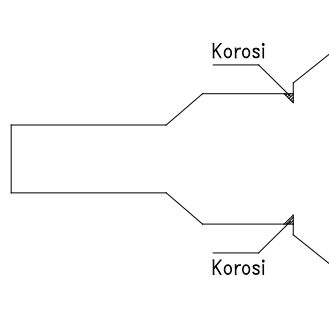
Dalam penelitian ini, korosi pada clamp dianggap mengalami korosi seragam. Karena korosi seragam adalah korosi yang paling dominan pada jembatan[6], diidentifikasi sebagai pengurangan permukaan material. Ada banyak factor yang dapat mempengaruhi penetrasi korosi dan laju korosi pada baja, dan data statistik yang tersedia tidak cukup untuk merumuskan model analitis. Oleh karena itu sangat sulit untuk secara akurat memprediksi laju korosi [7]. Hal ini hanya dapat diperkirakan dengan menggunakan rumus empiris pendekatan. Dari hasil studi oleh Komp.M.E. (1987) didapatkan bahwa penetrasi korosi dapat dilakukan pendekatan dengan fungsi eksponensial:

$$C = At^B$$

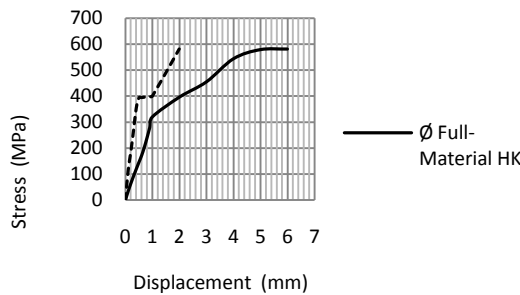
dimana C = penetrasi korosi rata-rata dalam satuan micrometer ( $10^{-3}$  mm); t = umur dari elemen struktur; parameter A dan B ditentukan oleh analisis regresi dari hasil

Parameters	Carbon Steel		Weathering Steel	
	A ( $\times 10^3$ mm)	B	A ( $\times 10^3$ mm)	B
Rural Environment				
Mean Value, $\mu$	34.00	0.65	33.30	0.498
Coefficient of Variation, $\sigma/\mu$	0.09	0.10	0.34	0.09
Coefficient of correlation $\rho_{AB}$		-	-0.05	-
Urban Environment				
Mean Value, $\mu$	80.20	0.593	50.70	0.567
Coefficient of Variation, $\sigma/\mu$	0.42	0.40	0.30	0.37
Coefficient of correlation $\rho_{AB}$	0.68	-	0.19	-
Marine Environment				
Mean Value, $\mu$	70.60	0.789	40.20	0.557
Coefficient of Variation, $\sigma/\mu$	0.66	0.49	0.22	0.10
Coefficient of correlation $\rho_{AB}$	-0.31	-	-0.45	

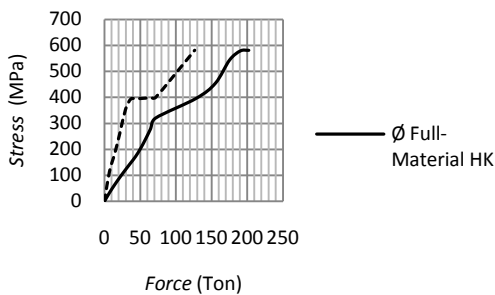
Gambar 4. Parameter Statistic untuk nilai A dan B (Albecht, Naemi, 1984)



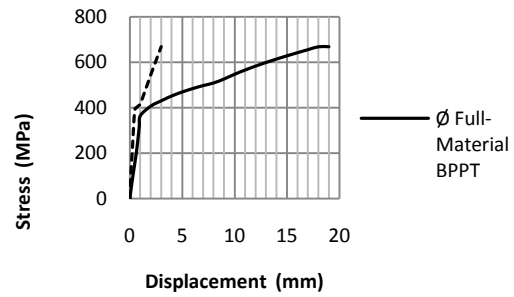
Gambar 5. Tampak samping pin clamp yang direduksi



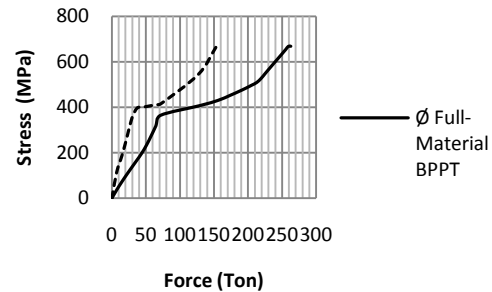
Gambar 6. Grafik Perbandingan Tegangan vs Displacement untuk material dari PT. HK antara penampang non reduksi dan direduksi



Gambar 7. Grafik Perbandingan Tegangan vs Gaya untuk material dari PT. HK antara penampang non reduksi dan direduksi



Gambar 8. Grafik Perbandingan Tegangan vs Displacement untuk material dari BPPT antara penampang non reduksi dan direduksi



Gambar 9. Grafik Perbandingan Tegangan vs Gaya untuk material dari BPPT antara penampang non reduksi dan direduksi.

eksperimental, diklasifikasikan oleh Albercht dan Naemi (1984) berdasarkan pada lingkungan di mana jembatan berada.

IV. PERBANDINGAN HASIL REDUKSI PENAMPANG

Konstruksi clamp terbuat dari besi tuang (Ferro Cast Dist) FCD-60, dari Laporan PT. Hutama Karya properties materialnya sebagai berikut :

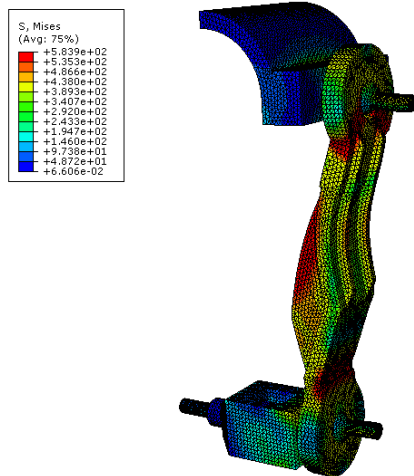
- Tegangan tarik ultimate = 588 Mpa
- Perpanjangan = 2%

Dari pengujian lab Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (BPPT) didapatkan hasil uji tarik dari material FCD 60, berikut hasil rata-rata uji tarik:

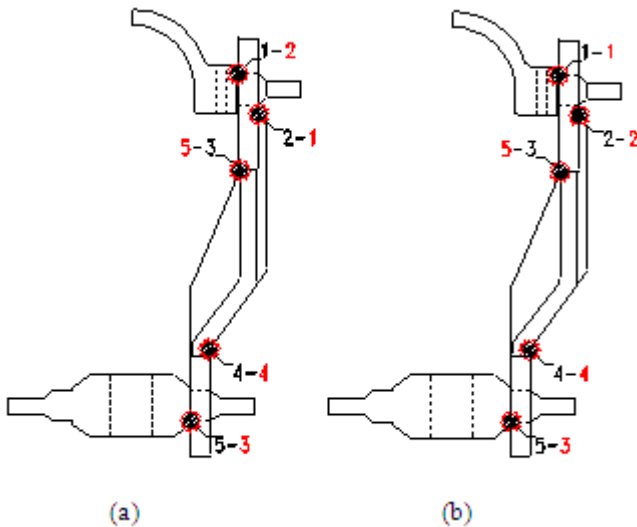
- Tegangan tarik ultimate = 668 Mpa
- Perpanjangan = 6.3%

Masing-masing dari material propertis akan dimodelkan pertama dengan penampang pin clamp dalam keadaan utuh dan yang kedua direduksi akibat penetrasi korosi sesuai dengan pendekatan dari hasil studi sebelumnya tentang penetrasi korosi. Dalam hal ini umur konstruksi dari awal beroperasi sampai mengalami kegagalan adalah 10 tahun. Lokasi dari Jembatan Kukar dikategorikan terletak pada kawasan perkotaan dan material termasuk dalam kategori carbon steel. Dari pendekatan fungsi eksponensial dan parameter statistik (Gambar 4) akan didapat penetrasi korosi yang terjadi pada saat umur konstruksi. Berikut hasil simulasi:

- 1) Dengan propertis material seperti pada laporan PT. Hutama Karya (Gambar 6-7).
- 2) Dengan propertis material dari BPPT (Gambar 8-9)



Gambar 9. Visualisasi tegangan dan deformasi pada sistem clamp



Gambar 10(a) Konsentrasi tegangan pada penampang non reduksi (b) Konsentrasi tegangan pada penampang tereduksi

Hasil simulasi untuk bagian *clamp halp* dengan menggunakan material dari laporan PT. HK didapat dari pengurangan luasan penampang sebesar 0,86% mengakibatkan berkurangnya kemampuan dari *pin clamp* dari 202,33 ton menjadi 126,67 ton. Pengurangan kekuatan penampang sebesar 37,39% ini disebabkan pengurangan luasan penampang dan terkonsentrasinya gaya pada coakan akibat penetrasi korosi.

Sedangkan hasil simulasi untuk bagian *clamp halp* dengan menggunakan material dari BPPT dari pengurangan luasan penampang sebesar 0,86% mengakibatkan berkurangnya kemampuan dari *pin clamp* dari 262,80 ton menjadi 153,68 ton. Pengurangan kekuatan penampang sebesar 41,52% ini disebabkan pengurangan luasan penampang dan terkonsentrasinya gaya pada coakan akibat penetrasi korosi[8].

V. KONSENTRASI SISTEM CLAMP

Hasil simulasi sistem clamp secara keseluruhan dengan menggunakan dua propertis material didapatkan konsentrasi tegangan dari titik-titik yang ditinjau, dimana titik-titik tersebut merupakan tempat dimana konsentrasi tegangan berawal (Gambat 9-10). Dari hasil simulasi konsentrasi

tegangan baik itu dari material dari Laporan PT. Utama Karya maupun dari Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (BPPT) terdapat perubahan konsentrasi tegangan dari semula penampang pin clamp tidak direduksi menjadi direduksi. Pada penampang pin clamp yang tidak direduksi bagian yang mengalami kegagalan terlebih dahulu adalah pada bagian leher atas dari hold (titik 2) yang kemudian disusul oleh pin clamp (titik 1) secara bersamaan atau berurutan dengan pin hanging bar (titik 5), kemudian disusul oleh bagian leher bawah dari hold (titik 4) dan yang terakhir adalah badan dari hold (titik3).

Sedangkan pada saat pin clamp direduksi urutan kegagalan tersebut berubah menjadi pin clamp (titik1) yang pertama mengalami kegagalan lalu leher bagian atas (titik2) dari hold secara bersamaan atau berurutan dengan pin hanging bar (titik5), disusul oleh leher bagian bawah dari hold (titik4) dan yang terakhir adalah badan dari hold (titik 3).

VI. KESIMPULAN/RINGKASAN

1. Dari propertis material dari laporan PT. Utama Karya didapat:
  - a. Dengan penampang non reduksi tegangan maksimum 581 MPa dan gaya reaksi yang menyebabkan tegangan maksimum adalah 202,33 ton, displacement yang diberikan adalah sebesar 6mm.
  - b. Dengan penampang yang direduksi sebesar 0,86% tegangan maksimum 581 Mpa, gaya reaksi yang terjadi adalah 126,67 ton, displacement
2. Dari propertis material dari BBPT didapat:
  - a. Dengan penampang non reduksi tegangan maksimum 668 MPa dan gaya reaksi yang menyebabkan tegangan maksimum adalah 262,8 ton, displacement yang diberikan adalah sebesar 19mm.
  - b. Dengan penampang yang direduksi sebesar 0,86% tegangan maksimum 688 Mpa, gaya reaksi yang terjadi adalah 153,68 ton, displacement yang diberikan adalah sebesar 3mm.
3. Dari hasil simulasi konsentrasi tegangan baik itu dari material dari Laporan PT. Utama Karya maupun dari Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) terdapat perubahan konsentrasi tegangan dari semula penampang *pin clamp* tidak direduksi menjadi direduksi. Pada penampang *pin clamp* yang tidak direduksi bagian yang mengalami kegagalan terlebih dahulu adalah pada bagian leher atas dari *hold* (titik 2) yang kemudian disusul oleh *pin clamp* (titik 1) secara bersamaan atau berurutan dengan *pin hanging bar* (titik 5), kemudian disusul oleh bagian leher bawah dari *hold* (titik 4) dan yang terakhir adalah badan dari *hold* (titik3).

Sedangkan pada saat *pin clamp* direduksi urutan kegagalan tersebut berubah menjadi *pin clamp* (titik1) yang pertama mengalami kegagalan lalu leher bagian atas (titik2) dari *hold* secara bersamaan atau berurutan dengan *pin hanging bar* (titik5), disusul oleh leher bagian bawah dari *hold* (titik4) dan yang terakhir adalah badan dari *hold* (titik 3).

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Susatio Y., *Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga*. Yogyakarta: Andi. (2004).
- [2] Nusantara (Surabaya). (2012). 13 Januari.
- [3] Chatterje S., "The Design of Modern Steel Bridges", 2<sup>nd</sup> ed., Blackwell Science. (2003).
- [4] Sasongko B.A., *Kesalahan Material Sebabkan Jembatan Kutai Kartanegara Runtuh*. (2012, Jan).
- [5] Siswandi A., *Kualitas Klem Jembatan Tenggarong*. (2011, Des).
- [6] Sharifi Y. dan Paik J. K., "Environmental Effect on Ultimate Strength Reliability of Corroded Steel Box Girder Bridges". Tech Science Press (2009) Vol.2. pp.81-101.
- [7] Navir A., Darmawan M. S., dan Irmawan M., "Penanggulangan Kegagalan Pembangunan dan Pemeliharaan Infrastruktur", Prosiding Seminar Nasional VII 2011 Teknik Sipil ITS Surabaya, 2011, A95-A102.
- [8] Oktavianto S.N., "Analisa Sistem Clamp Pada Penggantung Jembatan Kutai Kartanegara Dengan Metode Elemen Hingga", Skripsi, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember. 2013.