

# Kajian Metode Kantilever dan Semi Kantilever pada *Erection* Jembatan (Studi Kasus: Proyek Duplikasi Jembatan Liliba)

Marissa Neliadi Ballo\*, Jimmy Chandra

Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi,  
Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Jenderal Sudirman 51 Jakarta 12930

Article Info	Abstract
<i>Article history:</i>  Received 03 December 2025  Accepted 17 January 2026 <i>Keywords:</i> Steel Bridge Erection, Cantilever Method, Semi-Cantilever Method, CSMS, Construction Safety.	<i>The Liliba Bridge Duplication Project in Kupang City was undertaken to improve traffic capacity and level of service along a major interregional corridor in Timor Island. Steep valley topography and limited working space required the selection of appropriate bridge erection methods. This study aims to examine the application of cantilever and semi-cantilever methods in steel truss bridge erection and to evaluate the implementation of the Construction Safety Management System (CSMS). A case study approach with descriptive qualitative analysis was employed based on field observations and project documentation. The results indicate that the cantilever method is effective for sites with restricted space and no under-bridge access but presents a higher risk of structural imbalance. In contrast, the semi-cantilever method provides better stability for longer spans using temporary mid-span scaffolding, although it requires additional equipment and higher costs. Early implementation of CSMS plays an important role in enhancing construction safety and project performance.</i>

Info Artikel	Abstrak
<i>Histori Artikel:</i>  Diserahkan: 03 Desember 2025  Diterima: 17 Januari 2025 <i>Kata Kunci:</i> Erection Rangka, Kantilever, Semi Kantilever, SMKK.	Proyek duplikasi Jembatan Liliba di Kota Kupang dilaksanakan untuk meningkatkan kapasitas dan tingkat pelayanan lalu lintas pada jalur utama antarwilayah di Pulau Timor. Kondisi topografi berupa lembah curam serta keterbatasan ruang kerja menuntut pemilihan metode erection yang tepat. Penelitian ini bertujuan mengkaji penerapan metode kantilever dan semi-kantilever pada erection rangka baja jembatan serta mengevaluasi penerapan Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK). Metode penelitian menggunakan studi kasus dengan pendekatan deskriptif kualitatif berdasarkan data lapangan dan dokumentasi proyek. Hasil kajian menunjukkan bahwa metode kantilever efektif pada lokasi dengan keterbatasan ruang dan tanpa akses bawah, namun memiliki risiko ketidakseimbangan lebih tinggi. Metode semi-kantilever memberikan stabilitas yang lebih baik pada bentang panjang dengan bantuan perancah tengah, meskipun membutuhkan tambahan peralatan dan biaya. Penerapan SMKK sejak tahap awal berperan penting dalam mendukung keselamatan kerja dan keberhasilan proyek.

## 1. PENDAHULUAN

Jembatan Liliba I pertama kali dibangun pada era pemerintahan Presiden Soeharto dan diresmikan pada tahun 1990-an. Seiring dengan pertumbuhan aktivitas ekonomi dan peningkatan volume lalu lintas di Kota Kupang, jembatan ini mengalami beban lalu lintas

\*Corresponding author. Marissa Neliadi Ballo  
Email address: [marissa\\_neliadi@yahoo.com](mailto:marissa_neliadi@yahoo.com)

yang semakin besar sehingga diperlukan pembangunan jembatan duplikasi untuk mendukung kelancaran transportasi regional (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2024).

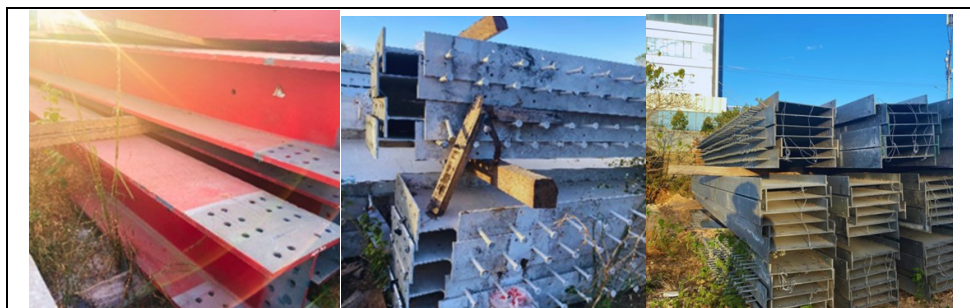
Berdasarkan hasil evaluasi lalu lintas menggunakan parameter *Annual Average Daily Traffic* (AADT) dan *Volume Capacity Ratio* (VCR), tingkat pelayanan jalan pada Jembatan Liliba berada pada level F, yang menunjukkan kondisi arus lalu lintas terhambat dengan kecepatan rendah dan tingkat kemacetan tinggi (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2024). Hasil pemeriksaan jembatan yang dilakukan oleh BPJN NTT menunjukkan Nilai Kondisi (NK) = 2, yang mengindikasikan tingkat kerusakan parah dan memerlukan penanganan segera (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Bina Marga, 2025).

## 2. METODE PELAKSANAAN

Metode perakitan rangka baja jembatan pada proyek duplikasi Jembatan Liliba menggunakan metode kantilever dan semi-kantilever. Metode kantilever merupakan metode erection yang dilakukan secara bertahap dengan memanfaatkan keseimbangan struktur melalui sistem *counter weight* tanpa menggunakan perancah bawah, sehingga sesuai diterapkan pada kondisi lembah curam dan ruang kerja terbatas (Gunawan, M., Lorens, R. R., Wijaya, G. B., & Sugiharto, H., 2019). Tahapan pekerjaan erection rangka baja mengacu pada Panduan Teknik Pelaksanaan Jembatan yang diterbitkan oleh (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2019), yang mencakup pekerjaan persiapan, perakitan komponen, pemasangan rangka, serta pengendalian mutu selama pelaksanaan. Adapun langkah – langkah dalam pelaksanaan *erection* rangka jembatan adalah sebagai berikut:

### 1. Pekerjaan Persiapan

Pekerjaan persiapan yang dilakukan berupa persiapan semua komponen utama jembatan rangka yang terdiri dari pelat sambungan, mur dan baut, pelat lantai baja gelombang, pipa sandaran dan perletakan bersama komponen peralatan perakitan dan perlengkapan lain yang disediakan untuk pemasangan di lapangan sesuai gambar rencana. Komponen rangka jembatan yang akan ditumpuk di lokasi diberi alas balok kayu yang dijamin keras serta sesuai standar ukuran. Dimensi balok yang digunakan ialah 5 x 7 cm sampai 7 x 10 cm. Foto penyimpanan komponen baja di lapangan dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.**

Penyimpanan Komponen – Komponen Rangka Baja

### 2. Komponen Jembatan Rangka

Komponen jembatan rangka terdiri atas komponen utama, komponen sekunder, dan komponen pelengkap. Komponen-komponen tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

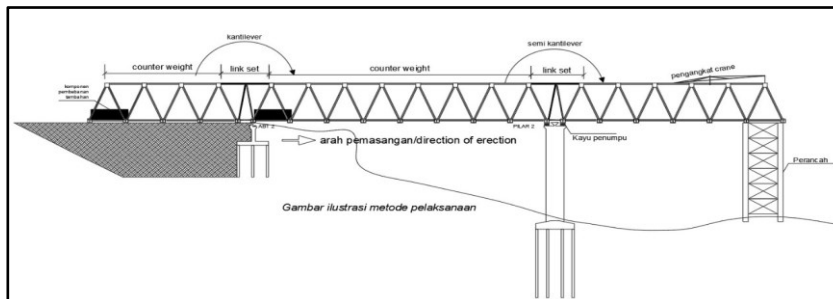
**Tabel 1.**

Komponen – Komponen Jembatan

Komponen Jembatan	Bagian-Bagian Jembatan
Komponen Utama	Batang atas ( <i>top chord</i> )
	Batang bawah ( <i>bottom chord</i> )
	Batang diagonal ( <i>diagonal chord</i> )
	Gelagar melintang ( <i>cross girder</i> )
	Gelagar memanjang ( <i>stringer</i> )
	Mur dan baut ( <i>bolt and nut</i> )
Komponen Sekunder	Ikatan angin atas
Komponen Pelengkap	Bantalan karet penahan gempa ( <i>elastometric bearing</i> )
	Penahan lateral ( <i>lateral stopper</i> )
	Pipa sandaran ( <i>railing</i> )
	Pelat lantai baja bergelombang ( <i>corrugated steel deck plate</i> )
	Sambungan ujung lantai ( <i>expansion joint</i> )
	Peralatan ( <i>tool kit</i> ) untuk keperluan perakitan jembatan

### 3. Metode Pelaksanaan *Erection* Rangka Jembatan

Terdapat dua metode yang digunakan dalam proses *erection* rangka jembatan, yaitu metode kantilever yang digunakan pada bentang A40 dan metode semi-kantilever yang digunakan pada bentang A60.

**Gambar 2.**Ilustrasi Metode Pelaksanaan *Erection* Jembatan

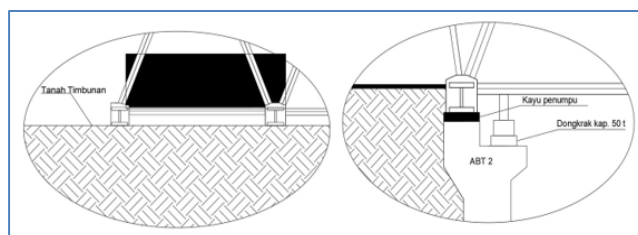
#### a. Metode Kantilever

Metode ini digunakan pada bentang A40, di mana pemasangan mengandalkan sistem keseimbangan (*counter weight*) untuk menopang segmen yang dirakit secara bertahap. Langkah-langkah *erection* rangka jembatan dengan metode kantilever sebagai berikut:

- Tahap I: Persiapan Area Kerja

Tahap pertama yang dilakukan adalah persiapan *area counter weight* dan *area* perakitan. Hal-hal yang perlu disiapkan antara lain:

- Penumpu gelagar melintang pada bentang pemberat.
- Tumpuan sementara (*timber crib work*).

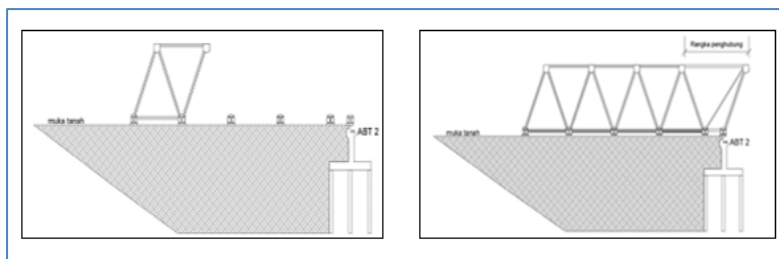
**Gambar 3.**

Persiapan Area dan Pembuatan Tumpuan

- Tahap II: Perakitan *Counter Weight*

*Counter weight* atau pembebanan pada proyek ini menggunakan empat segmen bentang A60 dengan panjang per segmen 5 meter. Berat empat segmen bentang A60 adalah 56.807,71 kg ditambah komponen pemberat tambahan sebesar 51.058,95 kg. *Counter weight* ini digunakan untuk menahan beban rangka baja permanen sebesar 98.060,60 kg. Tahapan perakitan bentang pemberat adalah sebagai berikut:

- Pasang semua gelagar melintang diatas tumpuan baja sementara pada posisi dan elevasi rencana.
- Pasang semua *bottom chord*, dan bautkan pada gelagar melintang. Pemasangan ini dilakukan dua sisi.
- Rakit batang diagonal sepasang demi sepasang lengkap dengan plat sambung atas, angkat dan dipasangkan pada gelagar melintang mulai dari gelagar paling belakang. Pemasangan dilakukan dua sisi.
- Pemasangan dilakukan menuju *abutment* 2, selanjutnya diteruskan dengan pemasangan rangka penghubung (*link set*).
- Setelah rangka penghubung terpasang maka ganjal kayu selain pada tumpuan belakang dan tumpuan baja pada *abutment* 2 dapat diambil dan selanjutnya dapat diberi beban tambahan berupa komponen baja A60.



**Gambar 4.**

Persiapan Area dan Pembuatan Tumpuan



**Gambar 5.**

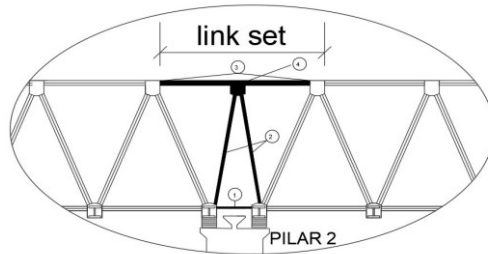
Counter Weight Menggunakan 4 Segmen Bentang A60 dan Komponen Pemberat Tambahan

- Tahap III: Pemasangan Rangka Penghubung (*Link Set*)

Pemasangan rangka penghubung (*link set*) untuk menghubungkan *counter weight* dengan rangka permanen. Rangka penghubung (*link set*), digunakan untuk menghubungkan bentang permanen yang akan dirakit ke bentang pemberat. *Link set* yang digunakan adalah *link set* hasil modifikasi yang menghubungkan bentang A40 dan A60. Tahapan perakitan *link set* adalah sebagai berikut:

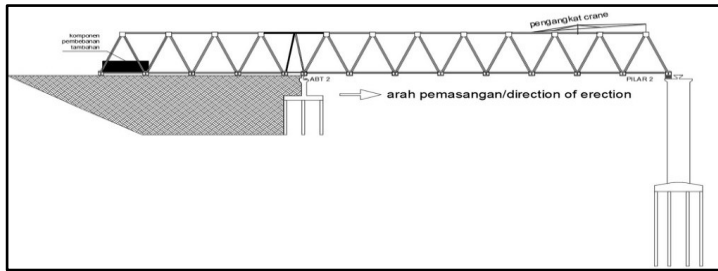
- Langkah 1  
Batang bawah *link set* dihubungkan dengan plat simpul yang sudah dipasang pada gelagar melintang.

- Langkah 2  
Batang diagonal dihubungkan pada plat simpul.
- Langkah 3  
Rangka *counter weight* dan rangka permanen dihubungkan dengan pemasangan *top chord*;
- Langkah 4  
Ikatan angin dari bentang pemberat dan rangka baja permanen dihubungkan ke *link set*.



**Gambar 6.**  
Pemasangan Rangka Penghubung (*Link Set*)

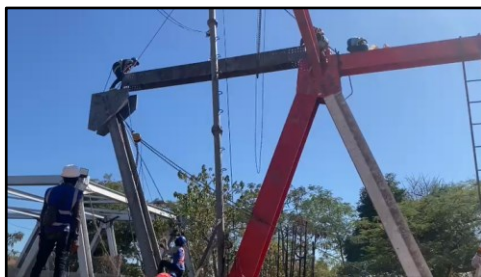
- Tahap IV: Perakitan jembatan rangka baja permanen bentang A40  
Tahapan perakitan rangka baja permanen adalah sebagai berikut:
  - Langkah 1  
Setelah bentang *counter weight* terpasang, dilakukan perakitan dan pengangkatan *link set* menggunakan *crane/lifting* untuk dipasang pada jembatan.
  - Langkah 2  
Pemasangan pelat *gusset* dalam pada batang penguat atas/*link set top bracing* dan bagian dalam sambungan batang penguat bawah.
  - Langkah 3  
Setelah *gusset* pelat terpasang, dilanjutkan dengan pemasangan *end portal* dan batang diagonal.
  - Langkah 4  
Pemasangan *stringer* pada segmen pertama jembatan.
  - Langkah 5  
Pemasangan *bottom chord*, dilanjutkan pada segmen kedua serta pemasangan *gusser plate* dan *cross girder*.
  - Langkah 6  
Setelah pemasangan *gusset plate* pada segmen kedua selesai, maka batang diagonal dapat dipasang.
  - Langkah 7  
Pemasangan *top bracing* segmen kedua.
  - Langkah 8  
Tahapan-tahapan diatas diulang hingga segmen terakhir terpasang dan membentuk *chamber* (lawan lendut) sesuai perhitungan dalam desain.



**Gambar 7.**  
Ilustrasi Perakitan Jembatan Permanen



**Gambar 8.**  
Pekerjaan Rangka Baja Top Chord dan *Stringer* Bentang 40 m Segmen 2



**Gambar 9.**  
Proses Pemasangan Top Chord



**Gambar 10.**  
Penyelesaian *Erection* Rangka A40 Arah *Abutment* 1

b. Metode Semi-Kantilever

Metode semi-kantilever digunakan pada bentang A60 dengan mengombinasikan sistem kantilever dan penggunaan perancah tengah untuk meningkatkan stabilitas struktur selama proses erection. Metode ini dinilai lebih aman untuk bentang panjang, meskipun membutuhkan tambahan peralatan dan biaya logistik yang lebih besar (Gunawan, M., Lorens, R. R., Wijaya, G. B., & Sugiharto, H., 2019). Sistem perancah yang digunakan adalah perancah cremona. Langkah-langkah *erection* rangka jembatan dengan metode semi-kantilever sebagai berikut:



- Tahap I: pemasangan ganjal baja sementara  
Ganjal baja sementara dipasang di bawah masing-masing titik tumpuan pada pilar dua untuk menumpu bagian pangkal dari bentang kantilever setelah pemasangan.
- Tahap II  
*Link set* dipindahkan ke pilar dua, dan dilakukan proses perangkaian seperti bentang A40. Pada pemasangan di tengah bentang A60 diberi perancah dengan jumlah empat buah.



**Gambar 11.**

Pekerjaan Pemasangan *Link Set* Arah Bentang 60 m

- Tahap III: penyelesaian bentang rangka A60  
Pada saat perakitan rangka selesai, posisi bentang rangka harus benar sehingga keempat titik pusat perletakan tepat di atas posisi yang direncanakan. Selanjutnya, bentang rangka harus ditumpu pada ujung perletakannya dengan memasang ganjal-balok kayu dengan posisi di antara permukaan atas *abutment* dan bagian bawah pelat perletakan.



**Gambar 12.**

Pekerjaan Pemasangan Rangka Baja Bentang A60 ke Arah Pilar 1

- Tahap IV: pemasangan mur dan baut  
Tahapan pemasangan mur dan baut sebagai berikut:
  - Semua baut, mur dan ring sebelum perakitan disimpan dalam kontainer asli pada tempat yang kering yang mempunyai sirkulasi udara.
  - Pemeriksaan komponen yang kotor atau pelumasnya kurang harus dibersihkan sebelum digunakan. Mur diberi pelumas lagi jika telah dicuci atau terkena detergen.
  - Komponen yang kotor atau pelumasnya kurang, dibersihkan sebelum digunakan. Mur diberi pelumas lagi jika telah dicuci atau terkena detergen.

- Bersihkan baut dan mur, lalu taburkan oli bertekanan, gemuk atau lilin sedikit sebelum pemasangan untuk mengurangi debu. Jika oli meresap, bersihkan dengan cairan pelarut. Lepaskan pelat penyambung, biarkan kering, dan sikat dengan sikat kawat sebelum dipasangkan kembali.
- Pengencangan baut (heksagonal) dilakukan hanya dengan memutar mur, dan kepala baut ditahan supaya jangan ikut berputar.
- Semua baut pada setiap pertemuan dikencangkan dengan kunci pas standar sebelum dilakukan pengencangan akhir.
- Penggunaan baut tipe S10T pada bentang A40 adalah baut jenis S10T – *Tension Control Bolt* (TC Bolt). Baut kontrol gaya tarik adalah baut yang menggunakan putaran torsi sebagai pengatur gaya tarik baut. Proses pengencangan baut dilakukan dengan menggunakan alat *shear wrench* dan baut F10T pada bentang A60 serta metode pengencangan dengan kontrol torsi menggunakan kunci torsi (*torque wrench*). Penggunaan tipe baut mengacu pada ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2) (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Bina Marga, 2021).
- Metode kunci torsi yang sering disebut kontrol gaya tarik sangat banyak digunakan karena mudah untuk dilaksanakan di lapangan dan memiliki akurasi yang cukup tinggi. Sebelum dikencangkan dengan menggunakan kunci torsi, seluruh baut harus dalam kondisi kekencangan sedang.



**Gambar 13.**

Pemasangan dan Pengencangan Baut



**Gambar 14.**

Duplikasi Jembatan Liliba selesai 100%

c. Peralatan yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam pelaksanaan *erection* jembatan antara lain:

- *Crane*, digunakan untuk mengangkat dan memindahkan material.
- *Link set*, digunakan untuk menghubungkan rangka *counter weight* bagi konstruksi rangka di span selanjutnya.
- Dongkrak, digunakan untuk mengangkat dan menempatkan komponen jembatan seperti rangka baja dan balok beton. Dongkrak yang digunakan berkapasitas 50 ton sebanyak 4 buah.



- *Shear wrench*, digunakan untuk memotong plat secara mekanis dengan memanfaatkan gaya geser dengan menggerakkan pisau potong yang menjepit plat logam.
- Kunci momen, digunakan untuk mengencangkan baut atau mur dengan tingkat torsi yang tepat.
- Kunci ring, digunakan untuk mengencangkan dan mengendurkan baut atau mur yang berbentuk heksagonal.

#### 4. Metode Pelaksanaan *Erection* Rangka Jembatan

Pelaksanaan *erection* jembatan melibatkan risiko kerja yang tinggi, sehingga penerapan Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK) dilakukan sejak tahap perencanaan hingga pelaksanaan pekerjaan. Identifikasi bahaya, pengendalian risiko, penggunaan alat pelindung diri, serta monitoring pelaksanaan pekerjaan dilakukan sesuai dengan Standar Operasional Prosedur Verifikasi dan Validasi Pemeriksaan Jembatan (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Bina Marga, 2025). Penerapan SMKK dimulai dari identifikasi masalah dan cara mencegah masalah yang dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.**

Identifikasi Masalah dan Cara Mencegah Masalah

Pekerjaan	Identifikasi Masalah	Cara Mencegah Masalah
Pekerjaan Persiapan: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pemeriksaan Lapangan;</li> <li>• Mobilisasi dan demobilisasi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspeksi alat tidak menyeluruh;</li> <li>• Perencanaan pemasangan tidak menyeluruh.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pemeriksaan peralatan secara menyeluruh sebelum digunakan;</li> <li>• Perencanaan pemasangan secara detail;</li> <li>• Pelaksanaan pelatihan dan simulasi secara rutin.</li> </ul>
Pemasangan <i>Counter Weight</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kesalahan dalam pemasangan;</li> <li>• Penggunaan alat berat yang tidak sesuai/tidak terawat;</li> <li>• Cuaca buruk/kondisi lingkungan yang tidak aman.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lebih teliti dalam pemasangan dengan mengikuti panduan pemasangan;</li> <li>• Inspeksi rutin dan pemeliharaan pada peralatan yang digunakan;</li> <li>• Penghentian pekerjaan apabila cuaca tidak mendukung.</li> </ul>
Pemasangan rangka baja permanen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bahaya jatuh dari ketinggian;</li> <li>• Bahaya tertimpa material berat;</li> <li>• Bahaya kecelakaan saat menggunakan alat berat;</li> <li>• Bahaya pemasangan komponen perancah yang tidak benar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selalu menggunakan APD, penahan jatuh, pelindung jatuh;</li> <li>• Selalu memasang jaring pengaman;</li> <li>• Berhati – hati dalam pengoperasian alat;</li> <li>• Lebih teliti dalam pemasangan mengikuti panduan pemasangan</li> </ul>



**Gambar 15.**

Penerapan SMKK Saat Pelaksanaan Pekerjaan



**Gambar 16.**  
Monitoring Pelaksanaan *Erection* Jembatan

### 5. Perbandingan Metode Kantilever dan Semi-Kantilever

Kajian terhadap metode kantilever dan semi-kantilever menunjukkan bahwa metode kantilever unggul dalam meminimalkan gangguan terhadap area di bawah jembatan dan cocok untuk lokasi dengan keterbatasan ruang, namun memiliki risiko ketidakseimbangan yang lebih tinggi. Sebaliknya, metode semi-kantilever menawarkan stabilitas lebih baik pada bentang panjang dengan bantuan perancah tengah, tetapi memerlukan biaya tambahan dan akses ke bawah jembatan (Gunawan, M., Lorens, R. R., Wijaya, G. B., & Sugiharto, H. (2019), (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2019). Kajian terhadap kelebihan dan kekurangan metode ini dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.**  
Kelebihan dan Kekurangan Metode Kantilever dan Semi-Kantilever

Metode Kantilever	
Kelebihan	Kekurangan
Tidak membutuhkan perancah bawah, cocok untuk lokasi dalam, curam, atau di atas sungai yang dalam	Risiko ketidakseimbangan lebih tinggi saat pemasangan bertahap jika perhitungan/pemasangan tidak presisi
Lebih efektif diterapkan pada lokasi jembatan yang memiliki keterbatasan ruang	Proses erection bisa lebih lama karena pemasangan per segmen harus seimbang
Mengurangi gangguan pada lingkungan bawah jembatan	Potensi getaran lebih tinggi pada saat konstruksi
Metode Semi-Kantilever	
Kelebihan	Kekurangan
Stabilitas lebih tinggi karena dibantu perancah tengah (cremona)	Mebutuhkan lebih banyak alat bantu seperti perancah
Lebih aman pada bentang panjang diatas 40 m	Biaya logistik dan alat bantu bisa lebih besar
Cocok untuk yang masih bisa diakses dari bawah	Perlu akses ke bawah jembatan untuk pemasangan perancah
Mampu menampung beban lebih besar sehingga dapat mengurangi kebutuhan <i>counter weight</i>	

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Penerapan Metode Kantilever pada Bentang A40

Hasil pelaksanaan *erection* rangka baja dengan metode kantilever pada bentang A40 menunjukkan bahwa metode ini berhasil diterapkan secara efektif pada kondisi lokasi dengan keterbatasan ruang kerja dan tanpa akses dari bawah jembatan. Penggunaan sistem

*counter weight* yang dirancang dari empat segmen bentang A60 dan pemberat tambahan mampu menjaga keseimbangan struktur selama proses *erection* bertahap. Namun demikian, hasil pengamatan lapangan menunjukkan bahwa metode kantilever memiliki tingkat sensitivitas tinggi terhadap ketidakseimbangan struktur, terutama pada tahap awal perakitan segmen. Oleh karena itu, ketelitian dalam perhitungan beban, urutan pemasangan, dan pengawasan teknis menjadi faktor kunci keberhasilan metode ini. Kondisi ini sejalan dengan karakteristik metode kantilever yang menuntut presisi tinggi dalam setiap tahap *erection*.

### **3.2. Hasil Penerapan Metode Semi-Kantilever pada Bentang A60**

Pelaksanaan metode semi-kantilever pada bentang A60 menunjukkan tingkat stabilitas struktur yang lebih baik dibandingkan metode kantilever murni. Kombinasi sistem kantilever dengan penggunaan perancah tengah (*cremona*) memberikan dukungan tambahan yang signifikan selama proses *erection* rangka baja bentang panjang. Hasil di lapangan menunjukkan bahwa metode ini lebih aman diterapkan pada bentang di atas 40 meter, khususnya pada tahap pemasangan segmen tengah. Akan tetapi, penggunaan perancah tambahan menyebabkan peningkatan kebutuhan alat bantu, waktu mobilisasi, dan biaya logistik, sehingga pemilihan metode ini perlu mempertimbangkan ketersediaan akses bawah jembatan serta efisiensi biaya proyek secara keseluruhan.

### **3.3. Analisis Stabilitas dan Risiko Konstruksi**

Berdasarkan hasil pelaksanaan kedua metode, dapat disimpulkan bahwa stabilitas struktur selama *erection* sangat dipengaruhi oleh metode yang digunakan. Metode kantilever memiliki keunggulan dalam meminimalkan gangguan terhadap area di bawah jembatan, tetapi memiliki risiko ketidakseimbangan yang lebih tinggi jika terjadi kesalahan urutan pemasangan atau perubahan kondisi lapangan. Sebaliknya, metode semi-kantilever memberikan stabilitas tambahan melalui perancah tengah, sehingga risiko deformasi dan getaran selama *erection* dapat ditekan. Namun, metode ini memerlukan pengendalian tambahan terhadap pemasangan dan pembongkaran perancah agar tidak menimbulkan risiko baru selama konstruksi.

### **3.4. Hasil Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK)**

Hasil penerapan SMKK pada proyek duplikasi Jembatan Liliba menunjukkan bahwa identifikasi bahaya dan pengendalian risiko sejak tahap perencanaan sangat berpengaruh terhadap keselamatan kerja. Penerapan prosedur keselamatan, penggunaan alat pelindung diri, pemasangan jaring pengaman, serta monitoring rutin selama *erection* mampu meminimalkan potensi kecelakaan kerja.

Tabel identifikasi masalah dan tindakan pencegahan menunjukkan bahwa sebagian besar risiko kerja dapat dikendalikan melalui perencanaan yang matang, inspeksi peralatan secara berkala, serta disiplin kerja di lapangan. Hal ini membuktikan bahwa SMKK bukan hanya sebagai persyaratan administratif, tetapi menjadi bagian integral dari keberhasilan teknis pelaksanaan proyek.

### **3.5. Implikasi Terhadap Praktik Konstruksi Jembatan**

Hasil dan pembahasan dalam penelitian ini memberikan implikasi praktis bahwa keberhasilan proyek jembatan rangka baja tidak hanya ditentukan oleh desain struktur, tetapi juga oleh pemilihan metode *erection* dan manajemen keselamatan konstruksi. Pengalaman pada proyek duplikasi Jembatan Liliba dapat dijadikan referensi bagi proyek sejenis, khususnya pada lokasi dengan kondisi medan yang menantang dan lalu lintas yang tetap harus beroperasi selama konstruksi.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil kajian penerapan metode kantilever dan semi-kantilever pada proyek duplikasi Jembatan Liliba, dapat disimpulkan bahwa pemilihan metode *erection* sangat dipengaruhi oleh kondisi topografi, panjang bentang, serta keterbatasan ruang dan akses di lokasi proyek. Metode kantilever terbukti efektif diterapkan pada lokasi dengan ruang kerja terbatas dan tanpa akses bawah, namun memiliki risiko ketidakseimbangan struktur yang lebih tinggi sehingga memerlukan pengawasan teknis yang ketat. Sebaliknya, metode semi-kantilever memberikan stabilitas yang lebih baik pada bentang panjang dengan bantuan perancah tengah, meskipun berdampak pada peningkatan kebutuhan alat bantu dan biaya logistik.

Hasil kajian juga menunjukkan bahwa penerapan Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK) secara terencana sejak tahap awal berperan penting dalam mengendalikan risiko pekerjaan *erection* yang memiliki tingkat bahaya tinggi. Identifikasi risiko, pengendalian bahaya, serta monitoring pelaksanaan pekerjaan terbukti mendukung keselamatan kerja dan kelancaran pelaksanaan proyek.

Selain faktor teknis, keberhasilan pelaksanaan proyek juga dipengaruhi oleh aspek non-teknis, seperti koordinasi antar pemangku kepentingan dan pengelolaan logistik material. Oleh karena itu, pemilihan metode *erection* yang adaptif, perencanaan keselamatan yang matang, serta koordinasi yang efektif menjadi kunci keberhasilan pembangunan jembatan rangka baja pada kondisi medan yang menantang.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Dewanto Cipta Pratama, Balai Pelaksanaan Jalan Nasional Nusa Tenggara Timur dan Universitas Katolik Atma Jaya Jakarta atas dukungan selama menyusun artikel ini.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

1. Gunawan, M., Lorens, R. R., Wijaya, G. B., & Sugiharto, H. (2019). Metode Kantilever Pelaksanaan Jembatan Rangka Baja Sei Puting Bentang 60 M. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 8(1): 146-153.
2. Kementerian Pekerjaan Umum Perumahan Rakyat. (2019). *Panduan Teknik Pelaksanaan Jembatan*, SE Nomor 02/SE/Db/2019. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta.
3. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2024). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 13 Tahun 2024 Tentang Kelas Jalan Berdasarkan Penggunaan Jalan Serta Kelancaran Lahu Lintas dan Angkutan Jalan*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
4. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Bina Marga. (2021). *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2) (Nomor 16.1/SE/Db/2020)*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
5. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Bina Marga. (2025). *Standar Operasional Prosedur Verifikasi dan Validasi Pemeriksaan Jembatan (SOP/UPM/DJBM-209)*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.