

# Perancangan Metode Perakitan *Gantry Crane* Sistem *Knock-Down* untuk Pekerjaan Penumpukan *Fan Wall Unit*

Fadhlan Shiddiq<sup>1</sup>, Sittati Musalamah<sup>2</sup>, Lenggogeni<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Gedung, Universitas Negeri Jakarta, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, Universitas Negeri Jakarta, Indonesia

\*Koresponden email: fadhlan.shiddiq@mhs.unj.ac.id

Diterima: 7 Mei 2026

Disetujui: 16 Mei 2026

## Abstract

The installation of Fan Wall Units (FWU) in data center projects requires a lifting system that can be assembled and operated effectively. One alternative is a modular knock-down gantry crane system that can be assembled and dismantled gradually according to project requirements. This study aims to design and visualize the assembly method of a knock-down gantry crane based on assembly sequence, structural stability during erection, and constructability considerations. The research employed an engineering process design approach through the development of an assembly sequence-based work method. The research stages included identification of structural components and work equipment, preparation of the assembly sequence, visualization of erection stages, and technical evaluation of the proposed method. The results show that the proposed assembly method is capable of developing progressive structural stability through the staged installation of columns, connecting beams, girders, and lifting systems. Temporary restraints applied during the early erection stages contributed to maintaining alignment and structural stability before the portal system was fully formed. In addition, the modular knock-down system and bolted connections enabled the assembly process to be carried out using common construction tools without requiring large-scale erection equipment. Based on the technical evaluation, the proposed method satisfies the fundamental principles of steel structure erection in terms of assembly sequence, temporary structural stability, and constructability.

**Keywords:** *gantry crane, knock-down, assembly sequence, constructability, fan wall unit*

## Abstrak

Pekerjaan instalasi *Fan Wall Unit* (FWU) pada proyek *data center* memerlukan sistem pengangkatan yang mampu dirakit dan dioperasikan secara efektif. Salah satu alternatif yang digunakan adalah *gantry crane* sistem *knock-down* yang dirancang modular sehingga dapat dipasang dan dibongkar secara bertahap sesuai kebutuhan pekerjaan. Penelitian ini bertujuan merancang dan memvisualisasikan metode perakitan *gantry crane* sistem *knock-down* berdasarkan urutan pemasangan, stabilitas struktur selama *erection*, dan keterlaksanaan metode kerja. Penelitian menggunakan pendekatan *engineering process design* melalui penyusunan metode kerja berbasis *assembly sequence*. Tahapan penelitian meliputi identifikasi komponen struktur dan alat kerja, penyusunan urutan perakitan, visualisasi tahapan *erection*, serta evaluasi teknis metode perakitan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode perakitan yang disusun mampu membentuk kestabilan struktur secara progresif melalui pemasangan bertahap elemen kolom, balok pengikat, *girder*, dan sistem *lifting*. Penggunaan pengikatan sementara pada tahap awal *erection* berperan dalam menjaga *alignment* dan kestabilan struktur sebelum sistem portal terbentuk secara penuh. Selain itu, sistem modular *knock-down* dan sambungan baut memungkinkan proses *assembly* dilakukan menggunakan alat kerja umum tanpa memerlukan peralatan *erection* berskala besar. Berdasarkan evaluasi teknis, metode yang dirancang telah memenuhi prinsip dasar *erection* struktur baja dalam aspek *assembly sequence*, kestabilan sementara struktur, dan *constructability*.

**Kata Kunci:** *gantry crane, knock-down, urutan perakitan, keterlaksanaan konstruksi, kipas dinding*

## 1. Pendahuluan

Pelaksanaan pekerjaan instalasi *Fan Wall Unit* (FWU) pada proyek *data center* memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi, khususnya pada proses pengangkatan dan penempatannya di dalam ruang *data hall*. Hal tersebut dipengaruhi oleh dimensi dan berat FWU yang relatif besar, konfigurasi pemasangan yang bertumpuk, serta keterbatasan ruang kerja selama proses instalasi. Kondisi tersebut menuntut adanya sistem pengangkatan yang tidak hanya mampu mendukung proses *lifting*, tetapi juga dapat dirakit dan dioperasikan secara efektif pada area kerja terbatas.

Dalam praktik konstruksi, *gantry crane* merupakan salah satu alat bantu pengangkatan yang umum digunakan untuk mendukung pekerjaan *material handling* dan instalasi komponen berat karena memiliki sistem pengangkatan yang relatif fleksibel dan mudah dikendalikan [1]. Namun, sebagian besar *gantry crane* yang tersedia di pasaran dirancang sebagai unit permanen (*fixed system*) dan belum sepenuhnya sesuai untuk digunakan pada pekerjaan instalasi FWU yang memerlukan proses mobilisasi dan perakitan alat secara bertahap.

Pada penelitian ini, *gantry crane* yang digunakan merupakan sistem khusus berbasis *knock-down* atau bongkar-pasang yang dirancang untuk mendukung pekerjaan penumpukan FWU. Sistem tersebut memungkinkan setiap komponen struktur dipindahkan dan dirakit secara bertahap sesuai kebutuhan pekerjaan, sehingga lebih fleksibel dibandingkan penggunaan sistem pengangkatan konvensional. Akan tetapi, penggunaan sistem *knock-down* menyebabkan proses perakitan struktur menjadi lebih kompleks karena setiap elemen harus dipasang secara bertahap hingga membentuk sistem struktur yang stabil.

Permasalahan utama dalam proses tersebut tidak hanya terletak pada fungsi pengangkatan, tetapi juga pada bagaimana metode perakitan dilakukan secara aman, sistematis, dan mampu menjaga kestabilan struktur selama tahapan *erection*. Pada proses *erection* struktur baja, urutan pemasangan elemen memiliki pengaruh langsung terhadap kestabilan sementara struktur (*temporary stability*) dan keselamatan pelaksanaan pekerjaan [2]. Ketidaksiharian urutan pemasangan dapat menyebabkan struktur berada pada kondisi tidak stabil sebelum seluruh elemen pengaku terpasang, terutama pada sistem modular atau *knock-down* yang dirakit secara bertahap.

Penelitian mengenai metode *erection* struktur baja telah banyak dilakukan pada konstruksi gedung maupun jembatan baja. Sukanto et al. [3] menjelaskan bahwa metode *erection* mempengaruhi efektivitas pelaksanaan dan produktivitas pekerjaan struktur baja. Ma'ruf dan Hakim [4] juga menyatakan bahwa urutan pemasangan elemen struktur menjadi faktor penting dalam menjaga kestabilan sistem selama proses *erection* berlangsung. Selain itu, konsep konstruksi modular dan *knock-down* dinilai memiliki keunggulan dalam fleksibilitas pemasangan dan kemudahan proses *assembly* [5] [6].

Meskipun demikian, penelitian yang secara khusus membahas metode perakitan *gantry crane* sistem *knock-down* untuk pekerjaan instalasi dan penumpukan FWU masih terbatas. Sebagian besar penelitian sebelumnya lebih berfokus pada aspek desain struktur, kapasitas alat angkut, atau metode *erection* bangunan secara umum, sehingga belum banyak membahas pendekatan teknis terhadap proses *assembly gantry crane* modular. Kontribusi penelitian ini terletak pada penyusunan metode *erection gantry crane* sistem *knock-down* berbasis *assembly sequence* yang difokuskan pada pembentukan kestabilan struktur secara bertahap selama proses perakitan berlangsung.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini difokuskan pada perancangan dan visualisasi metode perakitan *gantry crane* sistem *knock-down* berdasarkan pertimbangan teknis yang meliputi urutan pemasangan, stabilitas struktur selama proses *erection*, dan keterlaksanaan metode kerja. Metode yang dihasilkan kemudian dievaluasi secara teknis untuk menilai kesesuaian tahapan perakitan terhadap prinsip kestabilan struktur sementara dan implementasi lapangan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan metode kerja perakitan *gantry crane* modular pada pekerjaan instalasi FWU di proyek *data center*.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan perancangan metode kerja berbasis pertimbangan teknis (*engineering process design*) dengan fokus pada penyusunan urutan perakitan (*assembly sequence*) *gantry crane* sistem *knock-down* yang dirakit di dalam ruang *data hall*. Pendekatan ini digunakan untuk menghasilkan metode perakitan yang sistematis dengan mempertimbangkan urutan pemasangan, kestabilan sementara struktur selama proses *erection*, serta keterlaksanaan pekerjaan di lapangan [3] [7].

Penelitian tidak membahas perencanaan kapasitas struktur, analisis kekuatan elemen *gantry crane*, maupun analisis keselamatan kerja secara mendalam, melainkan difokuskan pada aspek metode pelaksanaan dan proses perakitan. Pendekatan tersebut sejalan dengan penelitian metode *erection* struktur baja yang menitikberatkan pada tahapan pelaksanaan, kontrol stabilitas sementara, serta efektivitas implementasi pekerjaan konstruksi [4] [8].

Selain itu, pendekatan *knock-down* dipilih karena sistem *gantry crane* dirancang untuk dapat dibongkar-pasang dan dipindahkan ke beberapa area kerja *data hall*. Konsep modular tersebut memungkinkan proses mobilisasi dan perakitan dilakukan secara bertahap sesuai kondisi ruang kerja yang tersedia [9] [5].

## 2.2 Data dan Ruang Lingkup

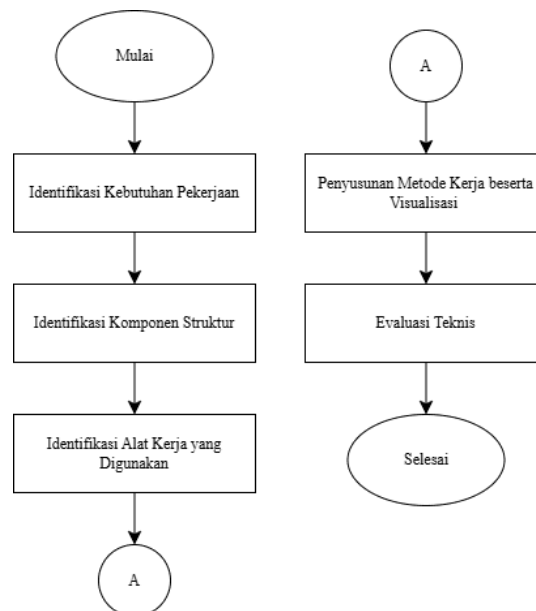
Penelitian ini menggunakan data teknis berupa konfigurasi struktur *gantry crane* sistem *knock-down*, identifikasi komponen struktur, alat kerja perakitan, serta visualisasi tahapan pemasangan yang disusun berdasarkan rancangan metode kerja *erection*. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam penyusunan urutan perakitan (*assembly sequence*) dan analisis tahapan *erection* secara bertahap.

Visualisasi tahapan perakitan digunakan untuk menunjukkan hubungan antar komponen struktur, urutan pemasangan elemen, serta proses pembentukan kestabilan struktur selama *erection* berlangsung. Selain itu, identifikasi alat kerja dilakukan untuk mendukung keterlaksanaan metode perakitan berdasarkan kebutuhan pekerjaan di lapangan.

Ruang lingkup penelitian dibatasi pada perancangan dan visualisasi metode perakitan *gantry crane* sistem *knock-down* berdasarkan pertimbangan urutan pemasangan, stabilitas struktur sementara selama *erection*, dan keterlaksanaan metode kerja. Penelitian tidak mencakup analisis desain struktur, perhitungan kapasitas angkat, pengujian performa alat secara kuantitatif, maupun analisis keselamatan kerja secara mendalam. Fokus penelitian diarahkan pada evaluasi teknis metode *erection* yang disusun berdasarkan prinsip pelaksanaan *erection* struktur baja [3] [7] [2].

## 2.3 Tahapan Penelitian

Penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang dilakukan secara berurutan, dimulai dari identifikasi kebutuhan pekerjaan hingga evaluasi teknis metode perakitan. Alur tahapan penelitian ditunjukkan pada **Gambar 1**.



**Gambar 1:** Diagram Alir Penelitian

Tahap awal dilakukan dengan identifikasi kebutuhan pekerjaan instalasi *Fan Wall Unit* (FWU) sebagai dasar penyusunan metode perakitan *gantry crane* sistem *knock-down*. Selanjutnya dilakukan identifikasi komponen struktur dan alat kerja yang digunakan selama proses *erection*.

Berdasarkan hasil identifikasi tersebut, disusun metode kerja perakitan beserta visualisasi tahapan pemasangan (*assembly sequence*) secara bertahap. Penyusunan metode mempertimbangkan urutan pemasangan, pembentukan kestabilan struktur sementara selama *erection*, serta keterlaksanaan metode kerja [2] [10].

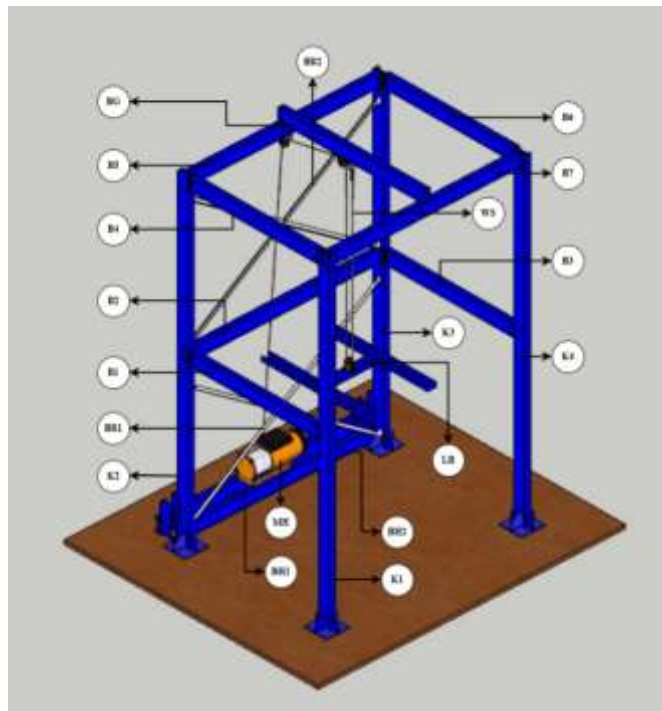
Tahap akhir dilakukan melalui evaluasi teknis terhadap metode yang telah disusun berdasarkan aspek urutan pemasangan, stabilitas struktur selama *erection*, dan keterlaksanaan metode kerja untuk menilai kesesuaiannya terhadap prinsip *erection* struktur baja [2].

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Komponen Struktur Gantry Crane

*Gantry crane* sistem *knock-down* yang digunakan dalam penelitian ini tersusun atas komponen struktur utama yang saling terhubung secara modular melalui sambungan mekanis. Untuk mempermudah

identifikasi dalam penyusunan metode perakitan, setiap elemen struktur diberikan kode tertentu. Komponen struktur *gantry crane* beserta sistem pengkodeannya ditunjukkan pada **Gambar 2**.



**Gambar 2:** Komponen Struktur *Gantry Crane* Sistem *Knock-Down*

Klasifikasi dan fungsi masing-masing komponen struktur dijabarkan pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Komponen Struktur *Gantry Crane* Sistem *Knock-Down*

Kode	Nama Komponen	Fungsi
K1	Kolom utama 1	Struktur vertikal penopang
K2	Kolom utama 2	Struktur vertikal penopang
K3	Kolom utama 3	Struktur vertikal penopang
K4	Kolom utama 4	Struktur vertikal penopang
B1	Balok tengah 1	Pengikat kolom bagian tengah
B2	Balok tengah 2	Pengikat kolom bagian tengah
B3	Balok tengah 3	Pengikat kolom bagian tengah
B4	Balok atas 1	Pengikat kolom bagian atas
B5	Balok atas 2	Pengikat kolom bagian atas dan dudukan <i>girder</i>
B6	Balok atas 3	Pengikat kolom bagian atas
B7	Balok atas 4	Pengikat kolom bagian atas dan dudukan <i>girder</i>
BG	Balok <i>girder</i>	Balok penumpu beban angkat
BR1	Bracing bawah	Pengaku struktur bagian bawah
BR2	Bracing atas	Pengaku struktur bagian atas
BH1	Balok <i>hoist</i> 1	Balok dudukan <i>hoist</i> belakang
BH2	Balok <i>hoist</i> 2	Balok dudukan <i>hoist</i> depan
LB	Lifting beam	Balok penggantung beban angkat (FWU)
MH	Motor <i>hoist</i>	Sumber tenaga pengangkatan
WS	<i>Wire sling</i>	Tali pengangkat beban

### 3.2 Alat Kerja

Proses perakitan *gantry crane* sistem *knock-down* dilakukan menggunakan peralatan kerja yang mendukung kegiatan penyambungan, penyetelan posisi, serta akses kerja selama proses perakitan di dalam ruang *data hall*. Pemilihan alat kerja disesuaikan dengan kebutuhan perakitan berbasis sambungan mekanis dan kondisi ruang kerja yang terbatas. Jenis dan fungsi alat kerja yang digunakan dalam proses perakitan *gantry crane* dijabarkan pada **Tabel 2**.

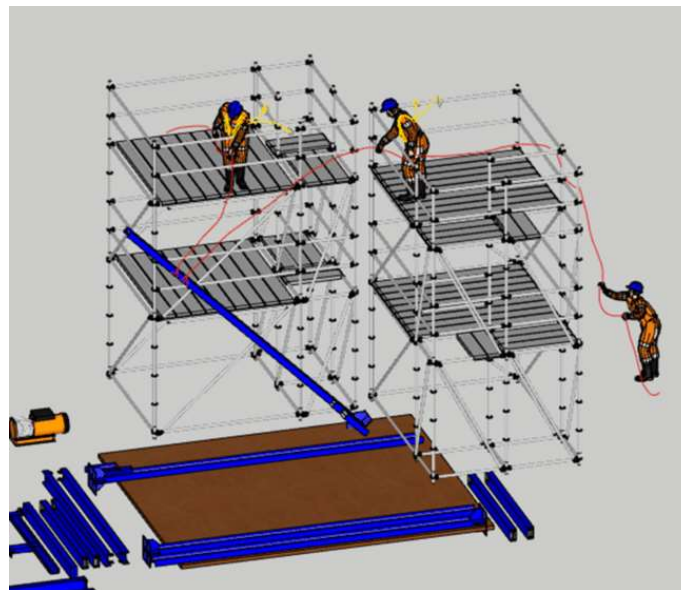
Tabel 2. Alat Kerja Perakitan *Gantry Crane*

No.	Alat	Fungsi
1.	<i>Impact wrench</i>	Mengencangkan dan melepas baut secara cepat dan efisien
2.	Kunci pas M14	Mengencangkan baut ukuran M14 pada sambungan struktur
3.	Kunci pas M12	Mengencangkan baut ukuran M12 pada sambungan struktur
4.	Baji	Penahan sementara dan penyetel posisi balok sebelum dilakukan penguncian baut
5.	Tali tambang	Digunakan untuk membantu pengangkatan komponen serta sebagai pengikat sementara elemen agar tidak jatuh sebelum terpasang permanen
6.	<i>Waterpass</i>	Memeriksa keselarasan ( <i>alignment</i> ) dan vertikalitas komponen struktur selama proses perakitan
7.	<i>Scaffolding</i>	Akses kerja pada area dengan elevasi tertentu selama proses perakitan
8.	<i>Scissor lift</i>	Akses kerja pada area ketinggian yang tidak terjangkau <i>scaffolding</i> , seperti pemasangan baut dan <i>wire sling</i>

### 3.3 Metode Kerja Perakitan *Gantry Crane* Sistem *Knock-Down*

Metode perakitan *gantry crane* sistem *knock-down* disusun menggunakan pendekatan *assembly sequence* dengan mempertimbangkan tiga aspek utama, yaitu urutan pemasangan, stabilitas struktur selama proses *erection*, dan keterlaksanaan metode kerja. Ketiga aspek tersebut menjadi dasar dalam menentukan tahapan pemasangan agar proses *assembly* dapat dilakukan secara sistematis, aman, dan memungkinkan untuk diterapkan di lapangan. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip *erection* struktur baja yang menekankan pentingnya pembentukan kestabilan struktur secara bertahap selama proses konstruksi berlangsung [2] [11].

#### a. Tahap 1 – Pemasangan Kolom K1



Gambar 3: Pemasangan Kolom K1

Tahap awal dimulai dengan pendirian kolom belakang pertama (K1) sebagai elemen referensi utama struktur. Proses *erection* dilakukan menggunakan tali tambang (*tag line*) untuk mengendalikan arah pergerakan kolom selama pengangkatan. Dua pekerja pada *scaffolding* mengontrol pergerakan kolom melalui *tag line*, sementara satu pekerja dibawah sebagai penahan beban cadangan jika terjadi kegagalan angkat oleh pekerja diatas *scaffolding*.

Secara teknis, tahap ini merupakan kondisi paling kritis dalam proses *erection* karena struktur masih berada pada kondisi bebas (*unbraced condition*) dan belum memiliki sistem pengaku lateral. Oleh karena itu, pengendalian arah pergerakan kolom dan koordinasi antar pekerja menjadi faktor utama dalam menjaga kestabilan awal struktur. Dari aspek keterlaksanaan metode kerja, penggunaan *tag line*, *scaffolding*, menunjukkan bahwa proses *erection* dapat dilakukan tanpa kebutuhan alat berat utama, sehingga metode lebih mudah diterapkan pada pekerjaan *assembly* modular di lapangan.

b. Tahap 2 - Pengamanan Sementara Kolom K1

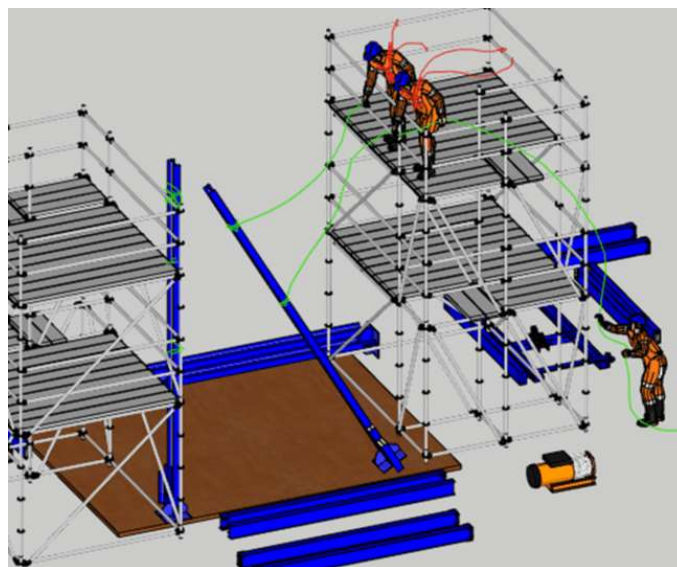


**Gambar 4:** Pengamanan Sementara Kolom K1

Setelah kolom K1 berdiri tegak, dilakukan pengamanan sementara dengan mengikat kolom pada *scaffolding* menggunakan tali tambang pada bagian tengah dan atas kolom. Tahap ini berfungsi untuk membentuk kestabilan sementara sebelum elemen pengaku horizontal dipasang.

Secara struktural, kolom tunggal masih memiliki risiko deformasi lateral akibat beban eksentris atau gangguan selama *erection*. Oleh karena itu, pengikatan sementara diperlukan untuk mengurangi potensi pergeseran maupun ketidakseimbangan struktur [12] [13]. Dari sisi keterlaksanaan metode, penggunaan *scaffolding* sebagai media pengikat sementara memberikan solusi praktis tanpa memerlukan sistem *temporary bracing* tambahan yang lebih kompleks.

c. Tahap 3 – Pemasangan Kolom Belakang Kedua (K2)



**Gambar 5:** Pemasangan Kolom Belakang K2

Kolom belakang kedua (K2) dipasang menggunakan metode yang sama seperti K1, yaitu dengan bantuan *tag line* dan *scaffolding*. Keberadaan K1 yang telah diamankan sebelumnya digunakan sebagai referensi *alignment* untuk menjaga kesesuaian jarak antar kolom.

Pada tahap ini, urutan pemasangan mulai mempengaruhi pembentukan geometri struktur secara keseluruhan. Meskipun dua kolom telah berdiri, sistem masih belum memiliki kekakuan lateral yang

cukup karena belum terhubung oleh elemen pengikat horizontal. Oleh karena itu, kontrol *alignment* dan koordinasi pemasangan menjadi penting untuk mencegah ketidaksesuaian posisi yang dapat mempengaruhi tahapan *assembly* berikutnya.

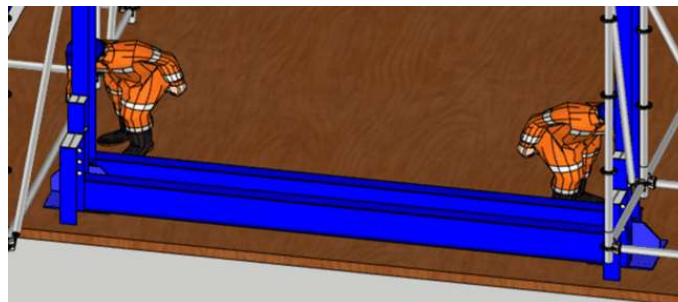
d. Tahap 4 – Pengamanan Sementara Kolom K2



**Gambar 6:** Pengamanan Sementara Kolom K2

Setelah K2 berdiri tegak, dilakukan pengamanan sementara menggunakan tali tambang yang diikat pada *scaffolding* di bagian tengah dan atas kolom. Secara teknis, pengamanan ini diperlukan karena sistem dua kolom tanpa pengaku masih rentan mengalami deformasi lateral. Pengikatan sementara berfungsi menjaga kestabilan sistem sebelum elemen balok penghubung dipasang [12] [13]. Dari aspek metode kerja, tahapan ini menunjukkan bahwa kestabilan *erection* dibentuk secara progresif melalui kombinasi pengikatan sementara dan penambahan elemen struktur secara bertahap.

e. Tahap 5 – Pemasangan Balok *Hoist* (BH1)

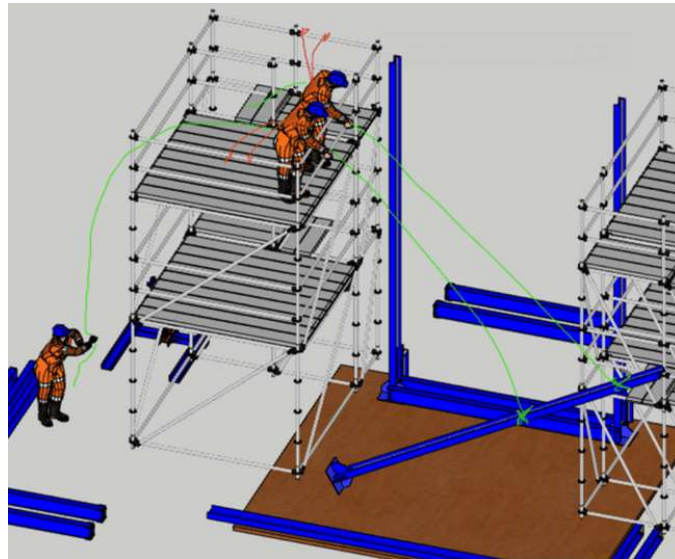


**Gambar 7:** Pemasangan Balok *Hoist* (BH 1 dan BH2)

Balok *hoist* (BH1 dan BH2) dipasang di antara K1 dan K2 sebagaiudukan sistem *hoist*. Pemasangan dilakukan dengan menyetel posisi balok menggunakan baji sebelum dikunci dengan baut menggunakan *impact wrench* dan kunci pas. *Alignment* dan elevasi diperiksa menggunakan *waterpass* dan meteran.

Pemasangan BH1 dan BH2 menjadi tahap penting karena mulai membentuk sistem pengikat horizontal pada portal belakang. Dengan terhubungnya kedua kolom melalui balok *hoist*, kekakuan sistem meningkat dan kestabilan *erection* menjadi lebih baik dibanding tahap sebelumnya. Selain itu, ketelitian *alignment* pada tahap ini sangat menentukan posisi sistem *hoist* dan kesesuaian pemasangan komponen *lifting* pada tahap akhir.

f. Tahap 6 – Pemasangan Kolom Depan (K3)



**Gambar 8:** Pemasangan Kolom Depan K3

Kolom depan (K3) dipasang menggunakan metode *erection* yang sama seperti kolom sebelumnya, yaitu menggunakan *tag line* dan *scaffolding*. Pemasangan K3 dilakukan setelah sistem portal belakang relatif stabil, sehingga distribusi kestabilan selama *erection* lebih terkendali. Urutan pemasangan ini menunjukkan bahwa metode *assembly* disusun berdasarkan perkembangan kekakuan struktur secara bertahap, dimana elemen baru dipasang setelah elemen sebelumnya mampu memberikan dukungan kestabilan terhadap sistem.

g. Tahap 7 – Pengamanan Kolom Depan (K3 dan K4)

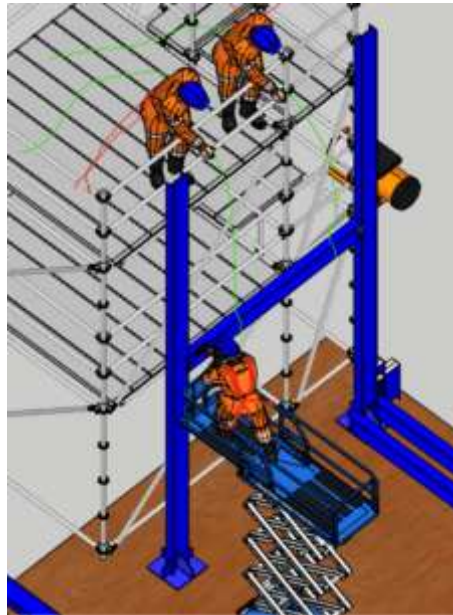


**Gambar 9:** Pengamanan Kolom Depan K3 dan K4

Setelah K3 dan K4 berdiri, seluruh kolom diikat sementara pada *scaffolding* menggunakan tali tambang pada bagian tengah dan atas kolom. Meskipun keempat kolom telah terpasang, struktur masih belum membentuk sistem portal yang kaku karena elemen pengaku horizontal belum terpasang secara

menyeluruh. Oleh karena itu, pengikatan sementara masih diperlukan untuk menjaga kestabilan global struktur sebelum tahap pemasangan balok pengikat dilaksanakan.

h. Tahap 8 – Pemasangan Balok Tengah (B1, B2, dan B3)

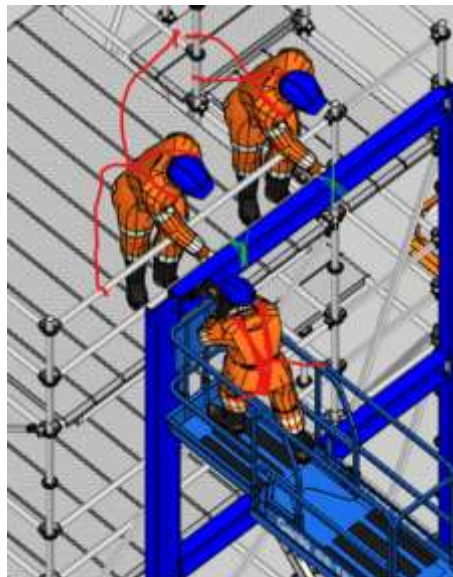


**Gambar 10:** Pemasangan Balok Tengah (B1, B2, B3)

Balok tengah (B1, B2, dan B3) dipasang untuk menghubungkan portal depan dan belakang. Proses *erection* dilakukan menggunakan tali tambang untuk positioning, kemudian balok disetel menggunakan baji sebelum dikunci dengan baut menggunakan *impact wrench* dan kunci pas.

Secara struktural, pemasangan B1–B3 meningkatkan kekakuan lateral sistem secara signifikan karena struktur mulai bekerja sebagai rangka portal yang terhubung. Tahap ini menunjukkan perubahan perilaku struktur dari sistem kolom individual menjadi sistem portal yang lebih stabil terhadap gaya lateral selama erection.

i. Tahap 9 – Pemasangan Balok Atas (B4, B5, B6, dan B7)



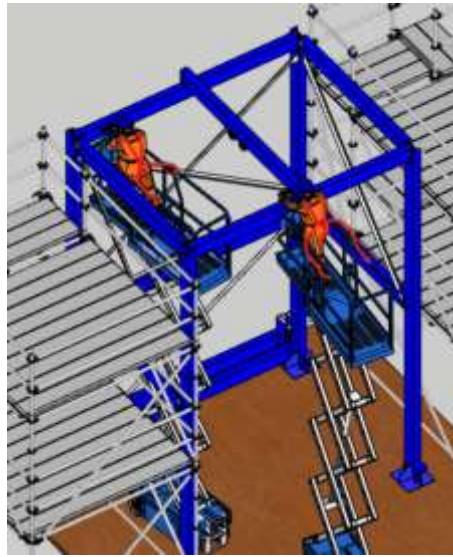
**Gambar 11:** Pemasangan Balok Atas (B4, B5, B6, B7)

Balok atas dipasang menggunakan tali tambang dengan bantuan *scaffolding* dan *scissor lift* sebagai akses kerja di elevasi. Posisi balok disetel menggunakan baji sebelum sambungan dikunci menggunakan baut.

Pemasangan balok atas berfungsi menyempurnakan sistem portal dan meningkatkan kekakuan global struktur sebelum menerima beban dari *girder* utama. Dengan terbentuknya sistem rangka atas,

distribusi beban antar kolom menjadi lebih merata sehingga kestabilan *erection* meningkat secara signifikan.

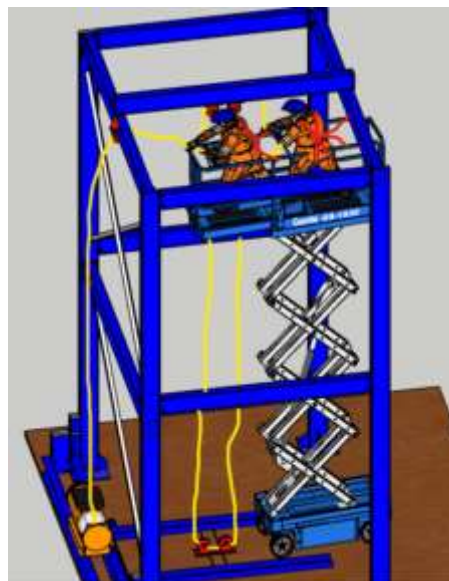
j. Tahap 10 – Pemasangan Balok *Girder* (BG)



**Gambar 12:** Pemasangan Balok *Girder* (BG)

Balok *girder* (BG) dipasang sebagai elemen utama penerima beban pengangkatan. Proses pemasangan dilakukan menggunakan tali tambang untuk positioning dan dibantu *scaffolding* serta *scissor lift* sebagai akses kerja. *Girder* dipasang setelah portal utama terbentuk untuk memastikan struktur telah memiliki kekakuan yang cukup dalam menerima tambahan beban *erection*.

k. Tahap 11 – Pemasangan Sistem *Hoist* dan Komponen *Lifting* (MH, WS, LB)

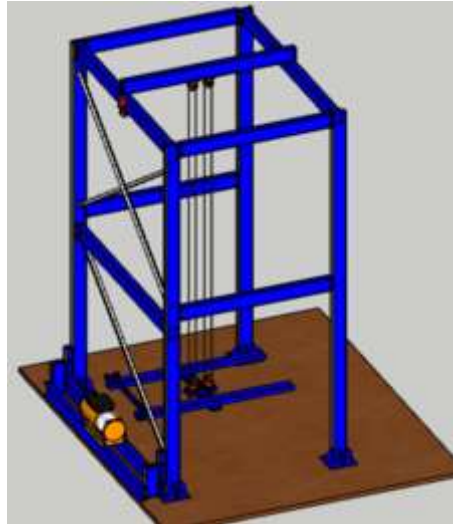


**Gambar 13:** Pemasangan Sistem *Hoist* dan Komponen *Lifting* (MH, WS, LB)

Motor *hoist* (MH), *wire sling* (WS), dan *lifting beam* (LB) dipasang setelah struktur utama berada dalam kondisi stabil. Pemasangan dilakukan menggunakan *scaffolding* dan *scissor lift* sebagai akses kerja di elevasi, sedangkan pengencangan sambungan dilakukan menggunakan *impact wrench* dan kunci pas. Tahap ini difokuskan pada pembentukan sistem *lifting* dan pemeriksaan jalur beban (*load path*) untuk memastikan seluruh komponen bekerja sesuai konfigurasi rencana.

Pemasangan dilakukan setelah struktur utama stabil agar beban tambahan dari sistem *lifting* tidak mempengaruhi kestabilan *erection*. Pemeriksaan jalur beban (*load path*) dilakukan untuk memastikan beban pengangkatan dari *lifting beam* dapat diteruskan secara sentris menuju *wire sling*, *girder*, dan kolom utama tanpa menimbulkan eksentrisitas yang dapat mempengaruhi kestabilan sistem *lifting*.

1. Tahap 12 – Pemeriksaan Akhir dan Kesiapan Operasi



**Gambar 14:** Pemeriksaan Akhir dan Kesiapan Operasi

Tahap akhir dilakukan melalui pemeriksaan menyeluruh terhadap *alignment* struktur, sambungan baut, sistem *hoist*, dan komponen *lifting* menggunakan *waterpass* dan kunci pas sebagai alat bantu inspeksi.

Pemeriksaan akhir bertujuan memastikan bahwa seluruh tahapan *erection* telah menghasilkan sistem struktur yang stabil dan siap dioperasikan. Selain memverifikasi kesesuaian pemasangan, tahap ini juga menjadi evaluasi akhir terhadap keterlaksanaan metode kerja yang telah disusun sebelum *gantry crane* digunakan pada proses *lifting Fan Wall Unit (FWU)*.

### 3.4 Evaluasi Teknis Metode Perakitan Gantry Crane Sistem Knock-Down

a. Evaluasi Urutan Pemasangan (*Assembly Sequence*)

Urutan pemasangan menjadi aspek utama dalam metode perakitan karena setiap tahapan *erection* mempengaruhi kestabilan struktur pada tahap berikutnya. Metode yang disusun dimulai dari pemasangan kolom utama, dilanjutkan elemen pengikat horizontal, kemudian sistem *girder* dan *lifting*. Urutan tersebut menunjukkan bahwa proses *erection* dilakukan berdasarkan perkembangan kekakuan struktur secara bertahap.

Pada tahap awal, pemasangan kolom dilakukan terlebih dahulu sebagai elemen pembentuk geometri dasar struktur. Selanjutnya, balok hoist dan balok pengikat dipasang untuk membentuk sistem portal yang lebih kaku sebelum struktur menerima tambahan beban dari *girder* dan sistem *lifting*. Strategi ini bertujuan untuk mencegah pembebanan pada struktur yang belum stabil dan mengurangi potensi deformasi selama *erection* berlangsung.

Selain meningkatkan kestabilan struktur, urutan pemasangan tersebut juga mendukung keterlaksanaan metode kerja karena setiap tahapan memiliki ruang kerja yang lebih terkontrol dan tidak saling mengganggu. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip *erection* struktur baja yang menekankan bahwa urutan pemasangan harus mempertimbangkan stabilitas sementara dan kemudahan pelaksanaan pekerjaan [2] [10].

b. Evaluasi Stabilitas Struktur Selama *Erection*

Stabilitas struktur menjadi aspek kritis yang dievaluasi pada setiap tahapan perakitan. Pada tahap awal, kolom berada dalam kondisi belum terkekang (*unbraced condition*), sehingga digunakan pengikatan sementara menggunakan tali tambang yang terhubung pada *scaffolding* untuk menjaga kestabilan posisi struktur selama *erection* berlangsung [2] [10].

Seiring bertambahnya elemen pengikat seperti balok hoist (BH1–BH2), balok tengah (B1–B3), dan balok atas (B4–B7), kekakuan struktur meningkat secara bertahap hingga membentuk sistem portal yang lebih stabil terhadap gaya lateral. Hal tersebut menunjukkan bahwa metode yang disusun telah mempertimbangkan pembentukan kestabilan struktur secara progresif selama *erection* berlangsung [2].

Selain itu, pemasangan balok *girder* (BG) dan sistem *lifting* dilakukan setelah struktur portal terbentuk dan terkunci dengan baik. Strategi tersebut bertujuan untuk menghindari pembebanan tambahan pada struktur yang belum stabil, sehingga potensi deformasi dan ketidakseimbangan selama *erection* dapat diminimalkan [10].

c. Evaluasi Keterlaksanaan Metode (*Constructability*)

Metode perakitan yang disusun menunjukkan tingkat keterlaksanaan yang baik karena seluruh tahapan *erection* dapat dilakukan menggunakan alat kerja umum seperti *scaffolding*, *scissor lift*, tali tambang (*tag line*), *waterpass*, *impact wrench*, dan kunci pas tanpa memerlukan alat *erection* berskala besar. Penggunaan sistem *knock-down* juga memungkinkan setiap komponen dipasang secara bertahap sesuai urutan *assembly* yang telah dirancang.

Dari aspek pelaksanaan, metode ini memiliki alur kerja yang sistematis dan mudah direplikasi karena setiap tahapan *erection* disusun berdasarkan hubungan antar elemen struktur dan perkembangan kestabilan sistem. Pendekatan tersebut sejalan dengan konsep *constructability* pada metode *erection* baja, dimana urutan pemasangan harus mempertimbangkan kemudahan pelaksanaan, keselamatan kerja, dan efisiensi proses *assembly* [3] [7].

Selain itu, penggunaan sambungan baut pada sistem modular memungkinkan proses pemasangan dan pembongkaran dilakukan lebih fleksibel dibanding sambungan permanen. Karakteristik tersebut sesuai dengan prinsip konstruksi modular yang menekankan kemudahan *assembly* dan efisiensi implementasi lapangan [5] [14].

### 3.5 Instrumen Evaluasi Teknis Metode Perakitan Gantry Crane Sistem Knock-Down

Berdasarkan hasil evaluasi terhadap metode perakitan yang telah disusun, dilakukan rekapitulasi dalam bentuk instrumen evaluasi untuk menunjukkan hubungan antara aspek teknis *erection*, penerapan metode perakitan, dan referensi yang mendasari penyusunan metode tersebut. Instrumen evaluasi ini digunakan untuk menilai kesesuaian metode terhadap prinsip *erection* struktur baja, pembentukan kestabilan struktur secara bertahap, serta keterlaksanaan metode kerja di lapangan. Instrumen evaluasi teknis metode perakitan *gantry crane* sistem *knock-down* disajikan pada **Tabel 3**.

**Tabel 3.** Instrumen Evaluasi Teknis Metode Perakitan *Gantry Crane* Sistem *Knock-Down*

No.	Aspek Evaluasi	Penerapan Metode yang Dirancang	Sumber Referensi
1.	Urutan pemasangan ( <i>assembly sequence</i> )	Pemasangan dilakukan bertahap dimulai dari kolom, balok pengikat, balok atas, <i>girder</i> , kemudian sistem <i>lifting</i>	[3] [2]
2.	Stabilitas awal struktur	Penggunaan pengikatan sementara kolom menggunakan tali tambang pada <i>scaffolding</i>	[2] [10]
3.	Stabilitas bertahap ( <i>progressive stability</i> )	Penambahan BH1–BH2, B1–B3, dan B4–B7 meningkatkan kekakuan struktur secara bertahap	[2]
4.	Pengendalian <i>alignment</i> dan posisi elemen	Penggunaan <i>tag line</i> , <i>waterpass</i> , dan baji untuk menjaga posisi dan elevasi komponen selama <i>erection</i>	[7] [10]
5.	Urutan pemasangan elemen utama	<i>Girder</i> dan sistem <i>lifting</i> dipasang setelah portal utama berada dalam kondisi stabil	[2] [10]
6.	Sistem modular <i>knock-down</i>	Komponen dirakit secara bertahap menggunakan sambungan baut sehingga proses <i>assembly</i> lebih fleksibel	[9] [15] [5]
7.	Keterlaksanaan metode ( <i>constructability</i> )	Metode menggunakan alat kerja umum dan tahapan <i>erection</i> yang sistematis	[3] [7]
8.	Akses kerja <i>erection</i>	Penggunaan <i>scaffolding</i> dan <i>scissor lift</i> mendukung pekerjaan pada elevasi tertentu	[10]
9.	Keselamatan selama <i>erection</i>	Penggunaan pengikatan sementara dan pemeriksaan <i>alignment</i> pada setiap tahapan pemasangan	[2] [10]

Berdasarkan **Tabel 3**, metode perakitan yang disusun menunjukkan bahwa urutan pemasangan memiliki pengaruh langsung terhadap pembentukan kestabilan struktur selama proses *erection*. Penambahan elemen pengikat secara bertahap menyebabkan kekakuan struktur meningkat seiring perkembangan proses *assembly*, sehingga struktur mampu menerima tahapan pemasangan berikutnya dalam kondisi yang lebih stabil.

Selain itu, penggunaan sistem modular *knock-down* dan alat kerja umum menunjukkan bahwa metode yang dirancang memiliki keterlaksanaan yang baik dalam proses *erection* di lapangan. Hal tersebut

mengindikasikan bahwa metode perakitan tidak hanya memenuhi prinsip kestabilan *erection*, tetapi juga dapat diterapkan secara praktis pada proses *assembly gantry crane* modular [3] [2] [5].

Metode yang disusun juga menunjukkan bahwa proses perakitan dapat dilakukan secara bertahap melalui hubungan antar elemen struktur dan urutan pemasangan yang sistematis, sehingga pembentukan kestabilan struktur selama *erection* dapat berlangsung secara progresif hingga sistem portal terbentuk secara utuh.

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan metode perakitan *gantry crane* sistem *knock-down* yang disusun berdasarkan pertimbangan urutan pemasangan, stabilitas struktur selama proses *erection*, dan keterlaksanaan metode kerja. Metode disusun dalam bentuk *assembly sequence* bertahap yang dimulai dari pemasangan kolom utama, elemen pengaku horizontal, hingga sistem *girder* dan *lifting*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa urutan pemasangan memiliki pengaruh langsung terhadap pembentukan kestabilan struktur selama *erection*. Penambahan elemen pengikat secara bertahap menyebabkan kekakuan struktur meningkat secara progresif, sehingga setiap tahapan pemasangan mampu mendukung kestabilan elemen berikutnya. Selain itu, penggunaan pengikatan sementara pada tahap awal *erection* terbukti penting untuk menjaga alignment dan mengurangi potensi deformasi sebelum sistem portal terbentuk secara penuh.

Dari aspek keterlaksanaan metode kerja, sistem *knock-down* menunjukkan bahwa proses *assembly* dapat dilakukan menggunakan alat kerja umum tanpa memerlukan peralatan *erection* berskala besar. Penggunaan sambungan baut dan pembagian komponen secara modular juga memberikan fleksibilitas dalam proses pemasangan dan pembongkaran struktur.

Berdasarkan hasil evaluasi teknis, metode perakitan yang dirancang telah memenuhi prinsip dasar *erection* struktur baja, khususnya dalam aspek *assembly sequence*, kestabilan sementara struktur, dan *constructability*. Dengan demikian, metode ini dapat digunakan sebagai acuan teknis dalam proses perakitan *gantry crane* sistem *knock-down* untuk pekerjaan instalasi *Fan Wall Unit* (FWU).

#### 5. Referensi

- [1] S. Dwilaksono, Endryansyah, P. W. Rusimamto and I. G. P. Asto, "Penerapan Anti-Swing pada Sistem Gantry Crane dengan Pengendali PID-Fuzzy Logic Berbasis Matlab," *Indonesian Journal of Engineering and Technology*, vol. 3, no. 2, pp. 46-55, 2021.
- [2] American Institute of Steel Construction (AISC), "Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges," AISC, Chicago, 2022.
- [3] D. D. Sukamto, A. Amarwatib and B. Karoepokab, "Analisis Pemilihan Metode Pelaksanaan Untuk Produktivitas Erection Struktur Baja Stasiun Light Rail Transit Bekasi," *Jurnal KaLIBRASI*, vol. 7, no. 1, pp. 47-59, 2024.
- [4] A. Ma'ruf and E. A. Hakim, "Metode Erection Rangka Jembatan Baja Sisi Bentang Tengah Pada Sungai Dalam," in *Seminar Keinsinyuran 2021*, Malang, 2021.
- [5] A. G. F. GIBB, *Off-site Fabrication: Prefabrication, Pre-assembly and Modularisation*, 2nd ed., London: ICE Publishing, 2018.
- [6] P. Gatheeshgar, K. Poologanathan, S. Gunalan, I. Shyha, P. Sherlock, H. Rajanayag and B. Nagaratnam, "Development of affordable steel-framed modular buildings for emergency situations (Covid-19)," *Elsevier*, vol. 31, no. 10, p. 862–875, 2021.
- [7] A. N. A. Hutahaean and J. Chandra, "Metode Pelaksanaan Pekerjaan Erection Struktur Baja pada Fasilitas Refinery (Studi Kasus: RDMP Kilang Pertamina Balikpapan)," *Jurnal Praktik Keinsinyuran*, vol. 3, no. 1, pp. 29-43, 2026.
- [8] H.-H. Lee, K.-H. Kim, S. Son, K. Park and S. Kim, "Time Reduction Effects Of Steel Connected Precast Concrete Components For Heavily Loaded Long-Span Buildings," *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 26, no. 2, pp. 160-174, 2020.
- [9] M. N. Fau, H. N. Nurjaman, S. P. Tampubolon and R. Rivky, "Analisis Perencanaan Struktur Baja Modular 4 Lantai Untuk Hunian Pekerja Di Ibu Kota Negara," in *Konfersi Nasional Teknik Sipil ke-17*, Balikpapan, 2023.
- [10] Occupational Safety and Health Administration, "Steel Erection Standard (29 CFR 1926 Subpart R)," U.S. Department of Labor, Washington, DC, 2020.

- 
- [11] K. Kim, J. Park and C. Cheo, "Framework for Automated Generation of Constructible Steel Erection Sequences Using Structural Information of Static Indeterminacy Variation in BIM," *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 24, no. 11, pp. 3169-3178, 2020.
- [12] D. H. Nguyen, E. Nkundimana and W.-K. Hong, "Examination of erection safety of precast beam assembly using a slanted beam section based on assembly test," *Journal Of Asian Architecture And Building Engineering*, vol. 21, no. 2, pp. 404-426, 2022.
- [13] C. Hyland, "Portal Frame Design Tips Seminar Proceedings," in *Steel Construction New Zealand Inc.*, New Zealand, 2010.
- [14] G. Nadeem, N. A. Safiee, N. A. Bakar, I. A. Karim and N. A. M. Nasir, "Connection design in modular steel construction: A review," *Elsevier*, vol. 33, pp. 3239-3256, 2021.
- [15] M. Pratimi, "Studi Metode Assembly Konstruksi Knockdown Dalam Menilai Sistem Blok Kayu Modular," Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2018.