

Analisa Perbandingan Biaya, Waktu, dan Karakteristik Struktur Bangunan Konstruksi Baja menggunakan Sistem *Pre-Engineering Building* (PEB) dan Sistem *Conventional Steel Building* (CSB)

Azaria Andreas^{1*}, Lukman Hakim¹, Resti Nur Arini¹, dan Akhmad Dofir¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

Abstrak. Konstruksi baja sistem PEB mulai diterapkan pada banyak bangunan konstruksi baja untuk menggantikan sistem CSB. Desain PEB akan menghasilkan banyak keuntungan karena elemen struktur baja dirancang sesuai diagram momen lentur sehingga mengurangi kebutuhan volume material. Dalam Proyek Rusun Stasiun Tanjung Barat digunakan struktur baja PEB pada bangunan stasiun untuk menggantikan desain awal yang menggunakan CSB. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan waktu penyelesaian konstruksi yang lebih cepat tanpa mengorbankan kekuatan struktur bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung perbedaan waktu, biaya, dan struktur antara struktur baja sistem PEB dan CSB. Proses penelitian dimulai dari pengumpulan data, analisis volume, biaya, dan waktu pekerjaan (termasuk analisis waktu *erection* menggunakan simulasi monte carlo). Perbandingan analisa struktur dilakukan dengan menggunakan software ETABS untuk sistem CSB, dibandingkan dengan *design calculation* sistem PEB. Hasil analisis sistem PEB, biaya material Rp. 5.545.713.089, dan biaya *erection* Rp. 1.357.853.182, waktu pekerjaan 288 hari. Sementara sistem CSB, biaya material Rp. 11.336.579.479, dan biaya *erection* Rp. 2.023.362.574, waktu pekerjaan 215 hari. Untuk kuat penampang struktur baja PEB dan CSB masih dikategorikan aman terhadap beban yang disimulasikan. Hasil analisis struktur sistem PEB dapat mengoptimalkan desain sampai kebatas maksimal izin yang disyaratkan aturan SNI, sehingga bisa memperkecil dimensi profil baja.

Kata kunci— Konstruksi baja, *Pre Engineering Building*, *Conventional Steel Building*, *Monte Carlo*

1. PENDAHULUAN

Industri konstruksi baja berkembang pesat di sebagian besar elemen dunia, penggunaan struktur baja tidak hanya ekonomis tetapi juga ramah lingkungan pada saat ada bahaya pemanasan dunia. Kata “Ekonomis” menjelaskan bahwa di konstruksi baja harus mempertimbangkan waktu dan Harga. Waktu adalah sisi yang paling penting, struktur baja (Pre-fabrikasi) ukuran persegi in built jumlah yang sangat singkat dan salah satu contohnya adalah bangunan *Pre Engineering Building* (PEB). Bangunan PEB menghindari baja tambahan untuk menyesuaikan kebutuhan penampang, akan tetapi dengan meruncingkan satu sisi bagian sesuai permintaan momen lentur [1].

Profil baja yang awalnya hanya produk dari pabrik yang tersedia dalam konfigurasi yang sudah di sediakan, namun saat ini dibantu oleh pengembangan teknologi solusi yang dibuat khusus untuk membuat jangka waktu pelaksanaan yang sangat singkat. Berdasarkan dari survei oleh Asosiasi Bangunan Logam (MBMA) bahwa sekitar 60% dari bangunan bertingkat rendah non-residensial di Amerika Serikat adalah bangunan konstruksi baja dengan sistem PEB [2]. Bangunan PEB direncanakan dengan menggunakan persediaan bahan baku dan metode manufaktur yang telah ditentukan sebelumnya, dan dapat secara efisien memenuhi berbagai persyaratan desain struktural dan estetika. Struktur rangka utama bangunan konstruksi pada umumnya adalah diproduksi secara *hot rolled* dan di bentuk menjadi baja profil. Pada baja Sistem PEB, balok penampang I yang digunakan, dibentuk dengan cara mengelas beberapa plat baja hingga membentuk penampang I [3].

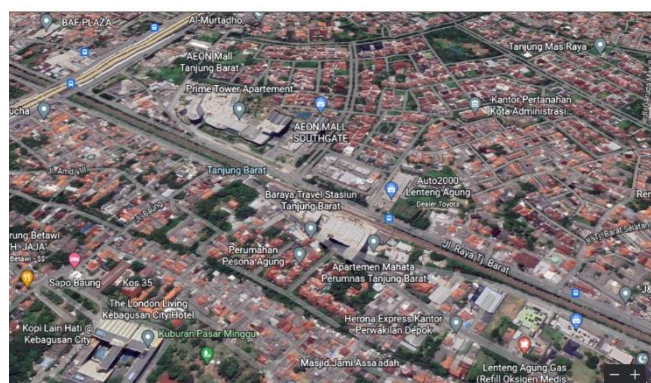
* Corresponding author: azaria.andrea@univpancasila.ac.id

Proyek Rusun Stasiun Tanjung Barat menggunakan struktur baja pada stasiunnya, pada desain awal menggunakan struktur baja konvensional (CSB), dengan terjadinya pandemi pada tahun 2020 yang dimana sangat berpengaruh terhadap harga baja di pasaran indonesia , sedangkan untuk pekerjaan stasiun tanjung barat ini menggunakan acuan anggaran biaya di tahun 2019 dan pelaksanaan proyek dihentikan untuk sementara waktu, kemudian pada bulan agustus tahun 2021 proyek dilaksanakan kembali, dan untuk progress pekerjaan di stasiun tanjung barat masih dalam tahap pekerjaan struktur bawah (pengeboran pondasi, dan pilecap), maka dari itu untuk struktur baja belum bisa dilaksanakan, maka dari itu untuk pekerjaan struktur baja dari proses re-desain sampai proses pengiriman material sampai ke site dilakukan secara simultan dengan pekerjaan struktur bawah untuk bisa mendapatkan biaya yang lebih rendah dan mendapatkan waktu yang lebih efektif. Struktur baja di stasiun tanjung barat ini dilakukan value engineering, dari struktur baja sistem CSB dirubah ke sistem PEB.

Adapun maksud dan tujuan dari penelitian ini yaitu menghitung waktu dan biaya yang diperlukan untuk masing - masing sistem PEB dan CSB pada bangunan konstruksi baja pada proyek rumah susun stasiun tanjung barat, Membandingkan besar kuat momen nominal, kuat geser nominal, lendutan yang terjadi di masing - masing sistem PEB dan CSB pada bangunan konstruksi baja stasiun tanjung barat. Bangunan pra-rekayasa adalah struktur yang dirancang sebelumnya menggunakan beberapa perangkat lunak simulasi dan pemodelan dan kemudian dibangun di lokasi menggunakan komponen pracetak [4]. PEB adalah teknik konstruksi yang didasarkan pada konsep perincian desain dan perincian dilakukan sebelum pekerjaan yang sebenarnya dimulai. Dalam sistem PEB, semua komponen sudah direncanakan mulai dari merancang, merincikan setiap proses meliputi fabrikasi, transportasi, dan ereksi. Setiap detail dirancang termasuk sambungan, perancang desain PEB akan menyediakan jumlah baut yang akurat. Sehingga sistem PEB membutuhkan lebih sedikit waktu karena hanya perlu mengkoneksikan tiap baja, desain PEB semua anggota yaitu bagian canai panas dan bagian cetakan dingin. Desain berat minimum CSB dilakukan untuk mencapai desain PEB. Mereka menyatakan bahwa Bobot Minimum berbanding lurus dengan Biaya Minimum. Kedua struktur ini dibandingkan tidak hanya secara ekonomis tetapi juga untuk keamanan struktural [5].

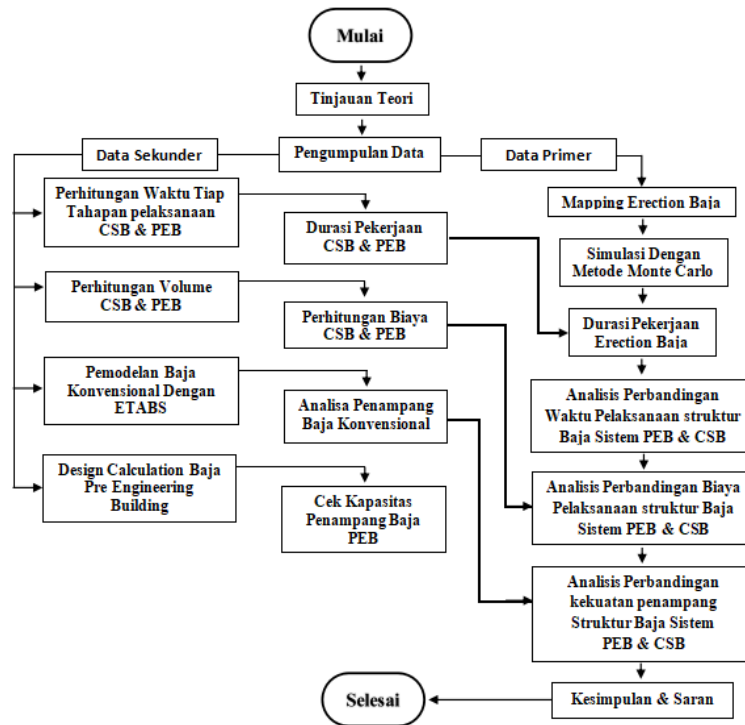
2. METODE

Penelitian ini menerapkan metode penelitian kuantitatif, menggunakan metode deskriptif, dengan cara mengumpulkan data, kemudian disusun dan diolah untuk bisa mendeskripsikan atau memberi gambaran terhadap perbedaan dari dua sistem stru PEB dan CSB dalam faktor biaya dan waktu serta kekuatan struktur. Objek Penelitian adalah proyek pembangunan rusun stasiun tanjung barat. Penelitian dilakukan pada Proyek Rumah Susun Stasiun Tanjung Barat yang berlokasi pada Jalan Raya Lenteng Agung No. 55, Lenteng Agung, Kecamatan Jagakarsa, Kota Jakarta Selatan, DKI Jakarta.



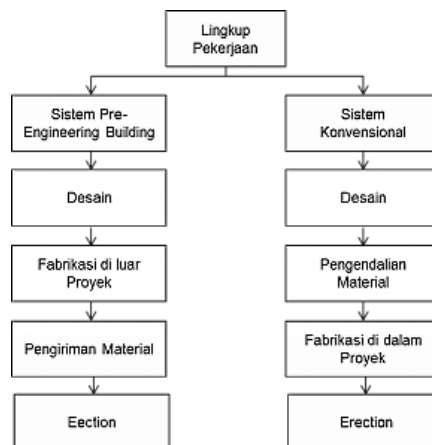
Gambar 1. Lokasi Proyek Rusun Stasiun Tanjung Barat

Pada penelitian ini diperlukan data yang dijadikan bahan acuan dalam pelaksanaan dan penyusunan laporan Penelitian. Data yang dibutuhkan dapat diklasifikasikan dalam dua jenis data, yaitu: data primer dan data sekunder, Pengumpulan Data yang digunakan Data Primer: Observasi, Perhitungan Volume, Mapping Pekerjaan *Erection* dan Data Sekunder: *Drawing, design Calculation, Harga Penawaran, Schedule*. Kemudian dilakukan Analisa perbandingan. Adapun proses alur penelitian ini dapat digambar seperti dalam diagram alur yang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Analisa data dilakukan untuk mengolah data sekunder dan data primer menjadi informasi yang nantinya bisa dipergunakan dalam mengambil kesimpulan. Dari data sekunder dan data primer, terdapat lingkup pekerjaan dari masing- masing metode yang menjadi parameter perbedaan antara struktur baja sistem PEB dan CSB seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Lingkup Pekerjaan

Dari diagram alir lingkup pekerjaan antara struktur baja sistem PEB dan CSB pada gambar di atas, pada masing-masing sistem terdapat tahapan analisa yang dilakukan sebagai berikut. Analisa biaya dan waktu pelaksanaan pada masing-masing metode dihitung dengan cara menganalisa besaran biaya yang ditimbulkan dari Sistem PEB dan CSB yaitu: Proses fabrikasi di luar proyek, Proses Pengiriman Material dari Luar Negeri, Proses erection, Dan dilakukan Analisa struktur portal dengan memodelkan kontruksi baja sistem CSB dengan bantuan software ETABS, Lalu di bandingkan dengan *design calculation* baja PEB untuk beberapa kuat penampang sebagai berikut: Kuat Momen Nominal, Kuat Geser Nominal, Besar Lentutan

3. HASIL

A. Analisis Biaya

Analisis perbandingan biaya antara sistem PEB dan CSB bisa diperhitungkan dari volume material baja, biaya produksi, biaya pengiriman dari masing masing sistem. Berikut adalah tabel hasil analisis volume baja untuk sistem PEB dan CSB.

Tabel 1. Rekapitulasi Perhitungan Volume Baja Sistem Conventional Steel Building

No	Pekerjaan	Volume	Satuan
1	kolom	92.880	kg
2	Balok	161.710	kg
3	Rafter	36.271	kg
4	Purlin	14.122	kg
5	Plat sambungan	40.806	kg
6	Sagrod	687,30	kg
7	Angkur	1.300	Set
8	Sambungan Baut	10.193	Set
	Total	346.481	kg

Tabel 2. Rekapitulasi Perhitungan Volume Baja Sistem Pre Engineering Building

No	Pekerjaan	Volume	Satuan
1	Kolom	66.114	kg
2	Balok	78.355	kg
3	Rafter	8.051	kg
4	Purlin	8.561	kg
5	Portal pengaku	259	kg
6	wall Brace	7.926	kg
7	Flange Brace	5.428	kg
8	sambungan	34.048	kg
	Total	208.751	kg

Perhitungan kebutuhan biaya material konstruksi baja *Pre Engineering Building* dan *Conventional Steel Building* dapat dihitung dengan mengalikan volume dari tiap tiap item pekerjaan dengan harga satuan pekerjaan yang telah ditentukan berdasarkan referensi harga satuan dari dokumen penawaran pekerjaan konstruksi baja oleh kontraktor pelaksana proyek. Berikut adalah tabel perhitungan biaya pekerjaan.

Tabel 3. Perhitungan Biaya Baja Sistem Pre Engineering Building

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Main structure (Kolom, balok, rafter)	Kg	186.830	Rp 22.778	Rp 4.255.691.527
2	Secondary structure (Purlins, bracing dan lain-lain)	Kg	21.916	Rp 41.409	Rp 907.547.563
3	Anchor bolts	Set			<i>included on secondary</i>
4	Bolt & nuts	Set			<i>included on secondary</i>
5	Painting 80 micron Alkyd	m ²	7.428	Rp 8.452	Rp 62.784.000
6	Shipping and Insurance to port	Container	14	Rp 18.848.571	Rp 263.880.000
7	Shipping to project				Rp 55.810.000
	Total Material On Site				Rp 5.545.713.089

Tabel 4. Perhitungan Biaya Baja Sistem Conventional Steel Building

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Main structure (Kolom, balok, rafter)	Kg	331.668	Rp 30.800	Rp 10.215.382.862
2	Secondary structure (Purlins, bracing dan lain-lain)	Kg	14.809	Rp 28.400	Rp 420.589.218
3	Anchor bolts	Set	1.300	Rp 368.000	Rp 478.400.000
4	Bolt & nuts	Set	10193	Rp 21.800	Rp 222.207.400
5	Painting 80 micron Alkyd	m ²			<i>included on secondary</i>
6	Shipping and Insurance to port	Container			<i>included on secondary</i>
7	Shipping to project				<i>included on secondary</i>
	Total Material On Site				Rp 12.545.713.089

Perhitungan kebutuhan biaya untuk erection kontruksi baja sistem PEB dapat dihitung dengan mengalikan volume dari tiap item pekerjaan dengan harga satuan pekerjaan yang telah ditentukan, dan untuk alat berat biaya sudah termasuk dalam harga satuan material, dan biaya tersebut berdasarkan referensi harga satuan dari dokumen penawaran pekerjaan kontruksi baja oleh kontraktor pelaksana proyek. Berikut adalah tabel hasil perhitungan biaya ereksi baja untuk ke dua sistem.

Tabel 5. Perhitungan Biaya Erection Baja Sistem PEB

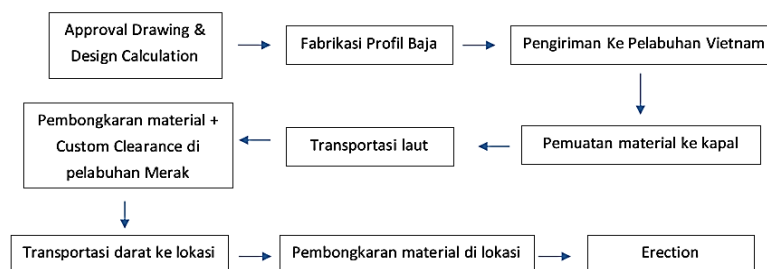
No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Main structure (Kolom, balok, rafter)	Kg	186.830	Rp 6.500	Rp 1.214.395.872
2	Secondary structure (Purlins, bracing dan lain-lain)	Kg	21.916	Rp 6.500	Rp 142.458.910
3	Anchor bolts	Set	768	Rp 1.300	Rp 998.400
4	Bolt & nuts	Set			<i>included on main Structure</i>
	Total Material On Site				Rp 1.357.853.182

Tabel 6. Perhitungan Biaya Erection Baja Sistem CSB

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Main structure (Kolom, balok, rafter)	Kg	331.668	Rp 5.800	Rp 1.923.675.993
2	Secondary structure (Purlins, bracing dan lain-lain)	Kg	14.809	Rp 5.800	Rp 85.894.981
3	Anchor bolts	Set	1.300	Rp 1.200	Rp 1.560.000
4	Bolt & nuts	Set	10.193	Rp 1.200	Rp 12.231.600
	Total Material On Site				Rp 2.023.362.575

B. Analisis Waktu

Untuk menghitung waktu yang dibutuhkan untuk kontruksi baja PEB dan CSB dari proses produksi sampai material on site dengan menghitung durasi waktu dari tiap tahap pekerjaan kedua system kontruksi baja tersebut. Pada pekerjaan kontruksi baja PEB ini dihitung waktu pengiriman material mulai dari proses approval drawing disepakati bersama lalu dilanjutkan dengan proses fabrikasi di workshop dan dikirim sampai tiba dilokasi proyek. Pada tahapan pekerjaan ini karena workshop manufaktur baja yang berada di Vietnam, perlu di lakukan analisa kebutuhan waktu untuk tahapan - tahapan pengadaan material kontruksi baja PEB dan pengiriman baja PEB dilakukan kontraktor dengan mengimpor material kontruksi baja sampai tiba dilokasi untuk kemudian dilakukan tahapan pekerjaan erection. Adapun tahapan-tahapan pekerjaan untuk analisis waktu dapat dilihat pada gambar diagram alir berikut ini.



Gambar 4. Alur Pekerjaan Kontruksi baja PEB

Proses approval drawing & design calculation dilakukan oleh sub-kontraktor dengan mengacu design yang sudah di buat oleh kontraktor & perencana, berdasarkan penawaran yang diberikan oleh sub-kontraktor untuk waktu yang dibutuhkan adalah 4 minggu. Proses fabrikasi dilakukan di pabrik yang berada di Vietnam, berdasarkan penawaran yang diberikan oleh sub-kontraktor untuk waktu yang dibutuhkan adalah 14 Minggu dari approval drawing sudah di sepakati bersama. Pada pekerjaan pengiriman material ini dihitung waktu pengiriman material mulai dari material yang sudah di fabrikasi di workshop dan dikirim sampai tiba dilokasi proyek, Beberapa tahap pengiriman material sebagai berikut;

- Pengiriman Ke Pelabuhan Vietnam = 2 Hari

- Pembongkaran materi = 5 Hari
- Transportasi laut = 14 Hari
- Pemuatan material ke kapal = 7 Hari
- Transportasi darat ke lokasi = 1 Hari
- Pembongkaran material di lokasi = 1 hari

Pada pekerjaan *erection* dilakukan analisa berdasarkan mapping pekerjaan yang sudah dilaksanakan dilapangan, dapat diperhitungkan durasi pekerjaan dari data yang sudah di dapatkan menggunakan metode simulasi Monte Carlo. Tabel berikut memperlihatkan hasil analisis menggunakan simulasi Monte Carlo untuk mencari durasi waktu ereksi kolom baja untuk hari 17-38.

Tabel 7. Perhitungan Simulasi Durasi Erection Kolom

Hari ke	Actual Data (Pcs)	Frequency (hari)	Probability	Cumulative	Random Number Intervals			Hari ke	Random Number	Prediction Data (Pcs)
1	1	1	0,06	0,06	0,00	-	0,06	18	41	1
2	1	1	0,06	0,12	0,06	-	0,12	19	38	1
3	1	1	0,06	0,18	0,12	-	0,18	20	25	2
4	2	1	0,06	0,24	0,18	-	0,24	21	62	2
5	2	1	0,06	0,29	0,24	-	0,29	22	18	1
6	2	1	0,06	0,35	0,29	-	0,35	23	80	1
7	1	1	0,06	0,41	0,35	-	0,41	24	76	1
8	1	1	0,06	0,47	0,41	-	0,47	25	56	1
9	1	1	0,06	0,53	0,47	-	0,53	26	73	1
10	1	1	0,06	0,59	0,53	-	0,59	27	81	1
11	2	1	0,06	0,65	0,59	-	0,65	28	35	2
12	1	1	0,06	0,71	0,65	-	0,71	29	84	2
13	1	1	0,06	0,76	0,71	-	0,76	30	81	1
14	1	1	0,06	0,82	0,76	-	0,82	31	13	1
15	2	1	0,06	0,88	0,82	-	0,88	32	76	1
16	1	1	0,06	0,94	0,88	-	0,94	33	71	1
17	2	1	0,06	1,00	0,94	-	1,00	34	20	2
	23	17						35	10	1
								36	82	1
								37	65	2
								38	47	1
								Total Erection		27

Tabel berikut memperlihatkan hasil analisis menggunakan simulasi Monte Carlo untuk mencari durasi waktu ereksi balok utama dan rafter baja untuk hari 10-29.

Tabel 8. Perhitungan Simulasi Durasi Erection Balok utama & Rafter

Hari ke	Actual Data (Pcs)	Frequency (hari)	Probability	Cumulative	Random Number Intervals			Hari ke	Random Number	Prediction Data (Pcs)
1	2	1	0,11	0,11	0,00	-	0,11	10	1	2
2	1	1	0,11	0,22	0,11	-	0,22	11	66	3
3	1	1	0,11	0,33	0,22	-	0,33	12	6	2
4	2	1	0,11	0,44	0,33	-	0,44	13	29	1
5	2	1	0,11	0,56	0,44	-	0,56	14	64	3
6	3	1	0,11	0,67	0,56	-	0,67	15	89	2
7	1	1	0,11	0,78	0,67	-	0,78	16	85	2
8	2	1	0,11	0,89	0,78	-	0,89	17	49	2
9	1	1	0,11	1,00	0,89	-	1,00	18	21	1
	15	9						19	41	2
								20	29	1
								21	93	1

22	70	1
23	23	1
24	69	1
25	34	2
26	53	2
27	77	1
28	79	2
29	61	3
	Total Erection	35

Tabel berikut memperlihatkan hasil analisis menggunakan simulasi Monte Carlo untuk mencari durasi waktu ereksi balok tepi dan bracing baja untuk hari 13-34.

Tabel 9. Perhitungan Simulasi Durasi Erection Balok Tepi & Bracing

Hari ke	Actual Data (Pcs)	Frequency (hari)	Probability	Cumulative	Random Number Intervals			Hari ke	Random Number	Prediction Data (Pcs)
						-				
1	1	1	0,08	0,08	0,00	-	0,08	13	22	1
2	4	1	0,08	0,17	0,08	-	0,17	14	95	5
3	1	1	0,08	0,25	0,17	-	0,25	15	99	5
4	1	1	0,08	0,33	0,25	-	0,33	16	56	1
5	2	1	0,08	0,42	0,33	-	0,42	17	12	4
6	1	1	0,08	0,50	0,42	-	0,50	18	17	4
7	1	1	0,08	0,58	0,50	-	0,58	19	90	3
8	1	1	0,08	0,67	0,58	-	0,67	20	52	1
9	2	1	0,08	0,75	0,67	-	0,75	21	38	2
10	2	1	0,08	0,83	0,75	-	0,83	22	17	4
11	3	1	0,08	0,92	0,83	-	0,92	23	64	1
12	5	1	0,08	1,00	0,92	-	1,00	24	8	1
	24	12						25	20	1
								26	29	1
								27	78	2
								28	100	5
								29	25	1
								30	70	2
								31	33	1
								32	6	1
								33	62	1
								34	62	1
								Total Erection		48

Tabel berikut memperlihatkan hasil analisis menggunakan simulasi Monte Carlo untuk mencari durasi waktu ereksi balok anak baja untuk hari 13-33.

Tabel 10. Perhitungan Simulasi Durasi Erection Balok Anak

Hari ke	Actual Data (Pcs)	Frequency (hari)	Probability	Cumulative	Random Number Intervals			Hari ke	Random Number	Prediction Data (Pcs)
						-				
1	2	1	0,05	0,05	0,00	-	0,05	13	16	3
2	3	1	0,05	0,09	0,05	-	0,09	14	61	3
3	2	1	0,05	0,14	0,09	-	0,14	15	6	3
4	3	1	0,05	0,18	0,14	-	0,18	16	57	4
5	1	1	0,05	0,23	0,18	-	0,23	17	35	2
6	1	1	0,05	0,27	0,23	-	0,27	18	90	2
7	3	1	0,05	0,32	0,27	-	0,32	19	89	2
8	2	1	0,05	0,36	0,32	-	0,36	20	48	1

9	1	1	0,05	0,41	0,36	-	0,41	21	50	1
10	5	1	0,05	0,45	0,41	-	0,45	22	99	1
11	1	1	0,05	0,50	0,45	-	0,50	23	97	1
12	3	1	0,05	0,55	0,50	-	0,55	24	75	10
	24	12						25	45	5
								26	45	5
								27	76	10
								28	61	3
								29	59	4
								30	25	1
								31	35	2
								32	2	2
								33	6	3
									Total Erection	68

Tabel berikut memperlihatkan resume hasil analisis untuk durasi pekerjaan ereksi baja sistem PEB.

Tabel 11. Rekapitulasi Perhitungan Simulasi Durasi Erection Baja

No	Tipe Baja	Satuan	Jumlah	Durasi (hari)
1	Kolom	Btg	50	37
2	Balok Utama & Rafter	Btg	50	29
3	Balok Tepi	Btg	72	34
4	Balok Anak	Btg	144	33
	Total			133

Dari perhitungan durasi pekerjaan konstruksi baja PEB di dapatkan rekapitulasi durasi pekerjaan sebagai berikut:

Tabel 12. Perhitungan Durasi Pekerjaan Kontruksi Baja Sistem PEB

No	Pekerjaan	Durasi (hari)
1	Approval Drawing & Approval Desain	28
2	Fabrikasi Profil Baja	98
3	Pengiriman Ke Pelabuhan Vietnam	1
4	Pembongkaran material + <i>Custom Clearance</i> di pelabuhan Merak	5
5	Transportasi laut	14
6	Pemuatan material ke kapal	7
7	Transportasi darat ke lokasi	1
8	Pembongkaran material di lokasi	1
9	Erection	133
	Total	288

Analisa proses alur pekerjaan konstruksi baja CSB dengan menghitung waktu yang dibutuhkan dari proses perencanaan approval drawing sampai ke masa konstruksi. Pada pekerjaan pengiriman material konstruksi baja sistem CSB, pengadaan material baja dilakukan pada pabrikan baja di Indonesia seperti PT Krakatau Steel dan PT Gunung Garuda, yang dimana lokasi workshop baja tersebut masih berada di sekitar Jabodetabek. Adapun tahapan-tahapan pekerjaan tersebut dapat dilihat pada diagram alir berikut ini.



Gambar 5. Alur Pekerjaan Kontruksi baja CSB

Proses pembuatan shop drawing dilakukan oleh Sub-Kontraktor yang mengembangkan atau mendetailkan dari DED yang sudah dibuat oleh kontraktor dan tim perencana, berdasarkan referensi dari tim proyek

memberikan waktu 7 hari kepada Sub-Kontraktor. Proses pengadaan material dilakukan di area Jabodetabek, untuk kebutuhan waktu berdasarkan jarak diperkirakan paling lambat 1 hari. Proses pembongkaran material dilakukan pada malam hari untuk menghindari kemacetan yang terjadi, pembongkaran material menggunakan bantuan alat Tower Crane dan Forklift. Proses fabrikasi material utama konstruksi baja sistem CSB yang merupakan baja profil WF dan H yang dilakukan langsung di area proyek. Waktu pekerjaan fabrikasi dengan rincian pekerja sebagai berikut:

Koefisien waktu pekerjaan = 40,18 kg/jm

Terdiri dari 1 tukang las, 1 tukang blender, 1 tukang gerinda, 1 tukang cat

Total volume berat material konstruksi baja sistem CSB = 346.488 kg dengan waktu pekerjaan 12 jam/ hari.

Koefisien waktu pekerjaan = 401,80 kg/jm, dengan

10 tukang las, 10 tukang blender, 10 tukang gerinda, 10 tukang cat

Durasi waktu pekerjaan = $346.488 \text{ kg} / 401,80 \text{ kg/ jam}$

= 862,34 kg/jam = 71,86 hr \approx 72 hr

Pekerjaan *Erection* kolom konstruksi baja sistem CSB diasumsikan tidak berbeda dengan sistem PEB dikarenakan bentuk dan jumlah Kolom dan balok relatif sama. Dari perhitungan durasi pekerjaan konstruksi baja sistem CSB di dapatkan rekapitulasi durasi pekerjaan yang disampaikan pada tabel berikut:

Tabel 13. Perhitungan Durasi Pekerjaan Kontruksi Baja Sistem CSB

No	Pekerjaan	Durasi (hari)
1	Approval Drawing	7
2	Pengadaan Material	1
3	Pengiriman Material	1
4	Pembongkaran Material	1
5	Pekerjaan Fabrikasi	72
6	Erection	133
	Total	215

C. Analisis Struktur

Dengan perbedaan volume material baja maka dilakukan Analisa struktur untuk mengecek kapasitas penampang terhadap kuat momen nominal, kuat geser nominal dan besar lendutan yang terjadi.

Data Beban

Tahap pertama dari proses analisis struktur bangunan adalah menetapkan parameter untuk perencanaan elemen struktur bangunan, dalam hal ini adalah pembebanan yang akan membebani struktur bangunan. Tabel berikut memperlihatkan daftar beban dan parameter perencanaan struktur yang diperlukan untuk proses analisis struktur.

Tabel 14. Parameter Perencanaan Pembebanan Struktur

No	Data Perencanaan Struktur	Nilai
1	Beban hidup lantai 2	500 kg/m ²
2	Beban SIDL lantai 2	135 kg/m ²
3	Beban Angin	40 kg/m ²
4	Beban Dinding Bata Ringan	100 kg/m ²
5	Beban Hidup Rafter	30 kg/m ²
6	Beban Hidup Purlin	57 kg/m ²
7	Beban Atap	24 kg/m ²
8	Beban Gempa zona depok	SE
	SS	0,607 (g)
	S1	0,549 (g)

9	Sistem Rangka Struktur	
	SRPMK (R) → CSB	8
	SRPMB (R) → PEB	3,5

Kombinasi Pembebanan

Setelah pembebanan dilakukan, maka tahap selanjutnya adalah mengkombinasikan beban-beban tersebut sesuai dengan SNI untuk pembebanan bangunan gedung.

- 1,4 DL
- 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 LR
- 1,2 DL + 1,6 LR + 0,5 LL
- 1,2 DL + 1,6 LR ± 0,5 W
- 1,2 DL ± 1W + 1 LL + 0,5 LR
- (1,2 + 0,2 Sds) DL + 0,5 LL ± p (EX ± 0,3 EY)
- (1,2 + 0,2 Sds) DL + 0,5 LL ± p (EY ± 0,3 EX)
- (0,9 - 0,2 Sds) DL ± p (EX ± 0,3 EY)
- (0,9 + 0,2 Sds) DL ± p (EY ± 0,3 EX)
- 0,9 DL ± 1W

Dimana:

DL : Beban mati

LL : Beban hidup

E : Beban gempa lateral

x,y : Arah beban gempa lateral

p : Faktor redundansi

Sds : Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

W : Beban angin

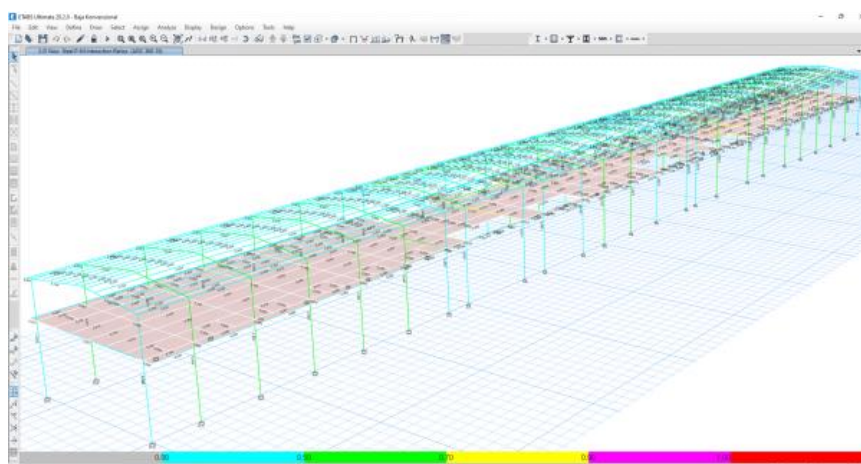
LR : Beban atap

Spesifikasi Bahan Material untuk Analisis:

CSB - Spesifikasi untuk kolom = mutu $F_y = 345$ Mpa (A36), Spesifikasi untuk Balok = mutu $F_y = 345$ Mpa (A36). PEB - Spesifikasi untuk kolom = mutu $F_y = 345$ Mpa (A572 Gr50), Spesifikasi untuk Balok = mutu $F_y = 345$ Mpa (A572 Gr50).

Analisis Struktur

Analisa kapasitas penampang struktur dilakukan dengan bantuan software ETABS. Dimulai dengan melakukan define material yang akan digunakan, lalu melakukan penggambaran model struktur, lalu melakukan identifikasi beban, selanjutnya melakukan input beban pada model struktur yang sudah dibuat, dan terakhir melaksanakan *Run Analisis* sehingga bisa mendapatkan hasil PMM Ratio yang menandakan aman atau tidaknya rangka batang baja tersebut. Gambar berikut memperlihatkan hasil analisis.



Gambar 6. Hasil Run Analisis ETABS

Pengecekan Kuat Momen Nominal

Berdasarkan dari Analisa struktur baja sistem CSB di dapatkan nilai kuat momen nominal yang terjadi di portal dengan pembebanan yang paling besar, dilihat dari tabel berikut memperlihatkan bahwa nilai momen nominal yang terjadi masih lebih kecil di dibandingkan dengan momen ultimate.

Tabel 15. Kuat Momen Nominal Balok Sistem CSB

Momen	Mu	Mn
Major Bending	1541,98	1783,64

Pada baja sistem PEB berdasarkan dari *design calculation* yang sudah disetujui didapatkan nilai momen nominal yang terjadi lebih kecil dari momen ultimate. Tabel berikut memperlihatkan nilai momen nominal untuk baja sistem PEB.

Tabel 16. Kuat Momen Nominal Balok Sistem PEB

Momen	Mu	Mn
Major Bending	1699,24	1959,24

Pengecekan Kuat Geser Nominal

Berdasarkan dari Analisa struktur baja sistem CSB di dapatkan nilai kuat geser nominal yang terjadi di portal dengan pembebanan yang paling besar, dilihat dari tabel berikut memperlihatkan bahwa nilai geser nominal yang terjadi masih lebih kecil dibanding kan dengan geser ultimate.

Tabel 17. Kuat Geser Nominal Balok Sistem CSB

Geser	Vu	Vn
Major Bending	53,668	1451,52

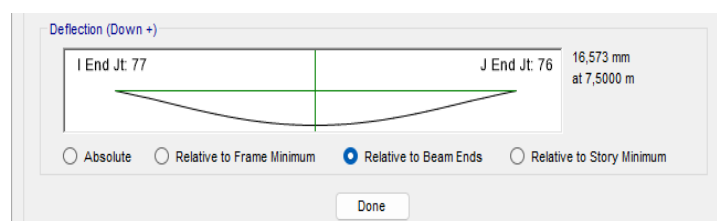
Pada baja sistem PEB berdasarkan dari design calculation yang sudah disetujui didapatkan nilai geser nominal yang terjadi lebih kecil dari momen ultimate. Tabel berikut memperlihatkan nilai geser nominal untuk baja sistem PEB.

Tabel 18. Kuat Geser Nominal Balok Sistem PEB

Geser	Vu	Vn
Major Bending	605,475	605,500

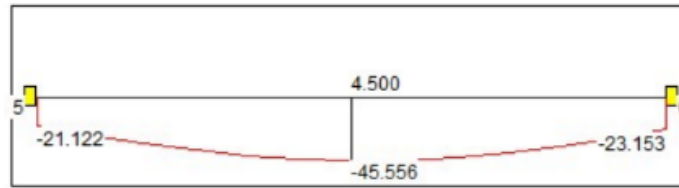
Pengecekan Lentutan Balok

Berdasarkan dari Analisa struktur baja sistem CSB di dapatkan nilai kuat geser nominal yang terjadi di struktur portal dengan pembebanan yang paling besar, dilihat dari gambar berikut bahwa besar lentutan yang terjadi adalah 16,573 mm, dimana masih lebih kecil dari lentutan izin yaitu sebesar 62,5 mm ($L/240$).



Gambar 7. Lentutan balok hasil Run Analisis di ETABS

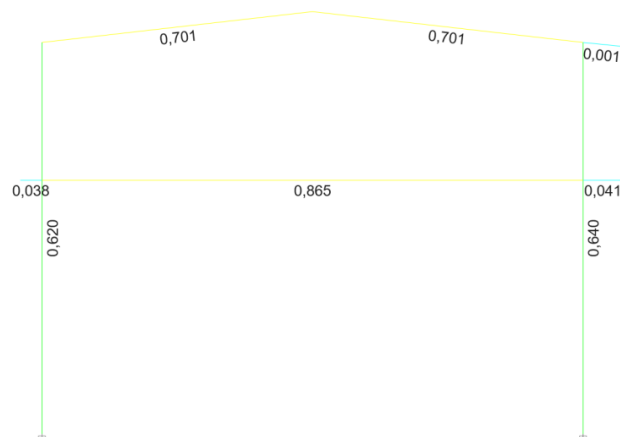
Pada baja sistem PEB berdasarkan dari *design calculation* yang sudah disetujui didapatkan nilai lentutan yang terjadi adalah 45,556 mm, dimana nilai tersebut masih lebih kecil dari lentutan izin yaitu sebesar 62,5 mm ($L/240$). Gambar berikut memperlihatkan nilai lentutan untuk baja sistem PEB.



Gambar 8. Lendutan balok dari design calculation PEB

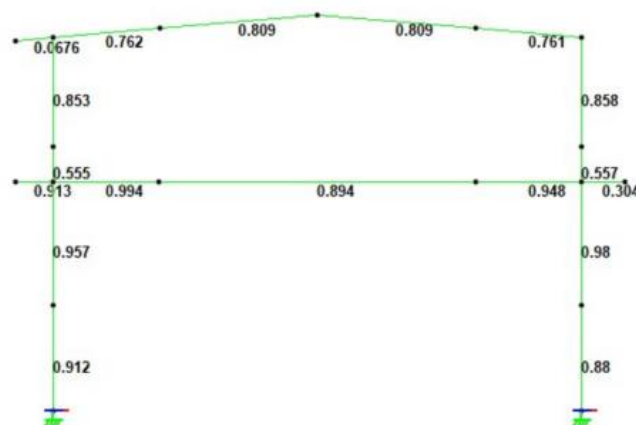
Pengecekan PMM Ratio

Berdasarkan dari Analisa struktur baja sistem CSB di dapatkan nilai PMM Ratio yang terjadi di struktur portal dengan pembebanan yang paling besar, dilihat dari gambar berikut bahwa PMM Ratio yang terjadi masih lebih kecil dari 1, maka rangka batang tergolong aman. Gambar berikut memperlihatkan hasil PMM rasio untuk baja PEB.



Gambar 9. PMM Ratio balok dari hasil *Run Analisis* software ETABS untuk CSB

Pada baja sistem PEB berdasarkan dari *design calculation* yang sudah disetujui didapatkan PMM Ratio yang terjadi lebih kecil dari 1, maka struktur portal masih tergolong aman. Gambar berikut memperlihatkan hasil PMM rasio untuk baja PEB.



Gambar 10. PMM Ratio design calculation PEB

Pembahasan hasil analisis struktur

Berdasarkan hasil Analisa dari kedua sistem tersebut, bahwa PEB dan CSB dapat dikategorikan sebagai struktur portal yang aman terhadap beban-beban yang terjadi. Namun dari Analisa struktur untuk baja sistem PEB mengoptimalkan design samai kebatas maximal izin yang disyaratkan, sehingga dapat memperkecil dimensi profil baja yang akan digunakan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari analisa waktu, biaya, dan struktur dari konstruksi baja sistem PEB dan CSB, maka didapatkan hasil sebagai berikut: Analisis perbandingan waktu pelaksanaan yang dihasilkan untuk masing-masing sistem PEB dan CSB pada bangunan konstruksi baja pada proyek rumah susun stasiun tanjung barat masing-masing yaitu 288 hari dan 215 hari. Analisis perbandingan biaya pekerjaan yang dihasilkan untuk masing-masing sistem PEB dan CSB pada bangunan konstruksi baja pada proyek rumah susun stasiun tanjung barat masing-masing yaitu Rp. 5.545.713.089 dan Rp. 11.336.579.479. Analisis perbandingan struktur baja sistem PEB dan CSB masih dikategorikan rangka batang yang aman terhadap beban – beban yang terjadi. Namun untuk struktur baja dengan sistem PEB didesain dengan lebih mendekati ke batas maksimum izin yang disyaratkan, sehingga desain profil struktur baja dengan sistem PEB yang dihasilkan bisa lebih efektif dan efisien. Sehingga dapat disimpulkan dengan kondisi proyek rusun tanjung barat yang masih di tahap pondasi saat proses tender baja stasiun ini, maka lebih baik memilih untuk menggunakan konstruksi baja sistem PEB, dikarenakan biaya yang bisa lebih efisien.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini tidak dapat terlaksana tanpa bantuan berbagai pihak, khususnya kepada PT. Brantas Abipraya sebagai kontraktor pelaksana yang memberikan akses data primer maupun sekunder pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Thorat, Mr. V., & Parekar, Mr. S. (2022). *Pre Engineering Building as a Modern Era: A Review. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10 (3). <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.40955>
- [2] Mohanraj, C. (2017). *International Research A Study o. www.ijtsrd.com*
- [3] Verma, A., & Chandak, Dr. R. (2022). Analysis and Design of Pre-Engineered Building with Different Parameters. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10 (3). <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.40982>
- [4] Sharma, L., Taak, N., & Mishra, P. K. (2021). A comparative study between the pre-engineered structures and conventional structures using STAADPRO. *Materials Today: Proceedings*, 45, 3469–3475. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.942>
- [5] Gawade, M. D., & Waghe, U. P. (2018). Study Of Pre-Engineered Building Concept. *Journal of Research in Engineering and Applied Sciences*, 03 (03). <https://doi.org/10.46565/jreas.2018.v03i03.003>
- [6] Kurniawan E.P, R., Nurcahyo, C. B., & Putri R.W, Y. E. (2015). Analisa Perbandingan Biaya dan Waktu Bangunan Konstruksi Baja Menggunakan Sistem *Pre Engineering Building* dan Sistem *Conventional Steel Building* pada Proyek Pabrik Fober Cement Boards Mojosari. *Jurnal Teknik Sipil ITS*, 4(1).
- [7] Ir. Susy Fatena Rostianti. (2008). alat-berat-untuk-proyek-konstruksi. In *Alat Berat Untuk Proyek Konstruksi* (2nd ed.). Rineka Cipta.
- [8] Permata Sari, K., Arman, U. D., & Ridwan, M. (2021). Analisis Perbandingan Rencana Anggaran Biaya Berdasarkan Metode Sni Dengan Perhitungan Kontraktor. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Bisnis*, 3 (1). <https://doi.org/10.47233/jteksis.v3i1.222>
- [9] Jonathan, R., & Anondho, D. B. (2021). Perbandingan Perhitungan Volume Pekerjaan Dak Beton Bertulang Antara Metode Bim Dengan Konvensional (Vol. 4, Issue 1).
- [10] Abdillah, N. (2018). Perbandingan Aplikasi Program Microsoft Project, Project Libre dan Gantt Project Dalam Penjadwalan Proyek Konstruksi. *Jurnal Unitek*, 10 (2). <https://doi.org/10.52072/unitek.v10i2.83>
- [11] A. Fadjar, “Aplikasi Simulasi *Monte Carlo* Dalam Estimasi Biaya Proyek,” *Jurnal SMARTek*, vol. 6, no. 4, p. 223, 2008.
- [12] Badan Standardisasi Nasional. (2020). Penetapan Standar Nasional Indonesia 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur. *Badan Standardisasi Nasional 1727:2020*, 8, 1–336.