

Integrasi Model Desain dan Strategi Pelaksanaan Konstruksi Baja Pada New Factory Industrial Building Di Karawang International Industrial City

Budi Hartono¹⁾, Suryawan Murtiadi²⁾, Fitri Suryani³⁾

^{1,2)} Prodi Magister Teknik Sipil, Fakultas Sains Terapan dan Teknologi, Institut Sains Teknologi Nasional

Jl. Moch Kahfi II Srengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640 Indonesia

³⁾ Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Persada Indonesia Y.A.I.

Jl. Salemba Raya No. 7/9A, Jakarta Pusat 10440, Indonesia

Email: budihartono134@gmail.com, suryawan_murtiadi@istn.ac.id, fitri_suryani@yai.ac.id

Abstrak

Integrasi model desain dan strategi implementasi konstruksi pabrik industri baru, khususnya pada konstruksi struktur baja, merupakan salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi tahapan konstruksi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengintegrasikan model desain struktur dan strategi implementasi konstruksi baja sehingga dari hasil analisis diperoleh model desain struktur baja, diperoleh strategi implementasi konstruksi baja, dan menghasilkan integrasi model desain dan strategi implementasi yang akan diaplikasikan pada proyek selanjutnya. Metodologi penelitian ini menggunakan kombinasi metode kualitatif dan kuantitatif, sedangkan konsep pengujiannya adalah pendekatan teknik wawancara, pengisian kuesioner, dan evaluasi *Analytical Hierarchy Process* (AHP) serta *Risk Management Analysis*. Dari pendapat 9 *Expert*, menghasilkan faktor yang dominan dengan tiga dari tujuh kriteria yaitu : efisiensi waktu, kemudahan pelaksanaan, dan transportasi material baja. Ini merupakan prinsip model desain konstruksi baja untuk bangunan industri manufaktur baru. Model struktur rangka *portal frame* dan sambungan baut + las dengan nilai *consistency ratio* 8,318% digunakan untuk tipe konstruksi pabrik alternatif, dan *crane crawler* dengan nilai *consistency ratio* 2,2576% digunakan untuk tipe *crane* alternatif. Dari pendapat 33 orang reponden pengisi kuesioner, didapatkan rencana implementasi konstruksi baja bangunan industri pabrik baru mempertimbangkan sejumlah faktor risiko tinggi, termasuk penggunaan model struktur rangka portal baja, penggunaan *crane crawler* atau *mobile crane* untuk pemasangan baja struktural yang lebih mudah dan efisien. Jenis manajemen risiko, yaitu mengubah risiko dengan bobot 32,18% dengan kriteria risiko fisik yang paling dominan. Menghasilkan integrasi model desain struktur baja dan strategi implementasi konstruksi baja untuk bangunan industri dalam fungsi pabrik agar lebih efektif dan efisien.

Kata kunci: Integrasi, Model Desain, Strategi Pelaksanaan, Struktur Baja, Bangunan Industri, AHP

Abstract

The integration of design models and construction implementation strategies for new industrial plants, particularly in steel structure construction, is one way to improve the efficiency of the construction phase. This study aims to analyse and integrate structural design models and steel construction implementation strategies so that the results of the analysis yield a steel structure design model, a steel construction implementation strategy, and an integration of design models and implementation strategies that can be applied to future projects. The research methodology uses a combination of qualitative and quantitative methods, while the testing concept is an approach using interviews, questionnaires, and Analytical Hierarchy Process (AHP) and Risk Management Analysis evaluations. From the opinions of nine experts, the dominant factors were three of the seven criteria, namely: time efficiency, ease of implementation, and steel material transportation. This is the principle of the steel construction design model for new manufacturing industrial buildings. The steel portal frame structure model with a consistency ratio of 8,318% is used for the alternative factory construction type, and the crawler crane with a consistency ratio of 2,2576% is used for the alternative crane type. From the opinions of 33 respondents who completed the questionnaire, it was found that the implementation plan for the steel construction of the new factory building took into account a number of high-risk factors, including the use of a steel portal frame structure model, the use of crawler cranes and mobile cranes for easier and more efficient structural steel installation, and the type of risk management, namely changing the risk with a weight of 32,18% with the most dominant physical risk criteria. This results in

the integration of steel structure design models and steel construction implementation strategies for industrial buildings in factory functions to be more effective and efficient.

Keywords: *Integration, Design Model, Implementation Strategy, Steel Structure, Industrial Building, AHP*

1. PENDAHULUAN

Berbagai desain bangunan industri baru muncul seiring dengan pertumbuhan industri Indonesia. Dibandingkan dengan jenis bangunan lain, seperti perkantoran, yang tentu lebih memerlukan aspek estetika, bangunan industri memiliki komponen arsitektural dan struktural yang relatif sederhana (Prasetyo & Yasir, 2023).

Bangunan yang digunakan untuk tujuan industri seperti penyimpanan, proses produksi, dan pengolahan manajemen industri, seperti gudang, pabrik, perakitan, pengolahan bahan mentah, peternakan, dll. Dikenal sebagai bangunan industri (Subagyo et al., 2022).

Desain bangunan adalah proses mengumpulkan semua informasi yang diperlukan untuk membangun sebuah bangunan untuk memenuhi kebutuhan pemilik dan memenuhi persyaratan kesehatan, keselamatan, dan kenyamanan masyarakat. Hasil dari proses desain termasuk pekerjaan yang akan dilakukan, rencana rencana, gambar detail, dan spesifikasi teknik, yang akan digunakan pada akhirnya. Gambar rencana, gambar detail, spesifikasi teknik perlu dipersiapkan, yang nantinya akan melewati proses *procurement* (tender), karena proses desain harus mengikuti pengawalan pada proses pelaksanaan konstruksi di lapangan. (Anggraini, et al., 2021).

Dalam proyek konstruksi, kegiatan biasanya dilakukan hanya sekali dan dalam jangka waktu yang singkat. Kegiatan konstruksi harus menggabungkan sumber daya yang dimiliki seperti uang, material, tenaga kerja, peralatan, teknik, dan manajemen organisasi. Industri konstruksi memiliki kegiatan yang unik. Proyek konstruksi adalah jenis bisnis yang kompleks yang selalu berbeda dari proyek lainnya. Manajemen proyek diperlukan untuk setiap operasi konstruksi untuk

memastikan pelaksanaannya sesuai dengan perencanaan awal sehingga biaya, waktu, dan kualitas bangunan dapat disesuaikan (Mardikaningsih dalam Djaelani, 2022).

Desain bangunan industri sendiri biasanya didasarkan pada keinginan pemilik atau pemilik. Di antara berbagai desain struktur pabrik yang tersedia, termasuk struktur beton bertulang, komposit, dan baja. Struktur baja dipilih untuk desain bentang 24 meter karena memungkinkan penggunaan area bebas kolom yang selebar dan sepanjang mungkin sambil tetap memiliki kekuatan yang diperlukan, sehingga sistem struktur ini dibuat berdasarkan kegunaan dan fungsinya (Arissaputra & Aprillia, 2024)

Kontrol proyek dalam proses pembangunan industri harus dilakukan setiap hari dari mulai perencanaan hingga serah terima supaya setiap perubahan dapat diketahui dan ditangani segera. Tidak terkontrolnya proyek konstruksi dapat menyebabkan overhead dan waktu penyelesaian proyek yang lebih lama. Keberhasilan proyek bergantung pada manajemen proyek. Keuntungan yang dihasilkan dari proyek dan waktu penyelesaiannya dapat digunakan untuk mengukur keberhasilannya (Sofyan et al., 2024).

Proyek konstruksi adalah salah satu jenis proyek sementara yang memiliki risiko tinggi karena unik, aktif, dan kompleks. Banyak tenaga kerja diperlukan untuk proyek konstruksi, yang melibatkan banyak pihak. Oleh karena itu, proses manajemen yang baik diperlukan untuk menyelesaikan proyek konstruksi di perusahaan pembangunan. Prinsip dasar pemodelan informasi bangunan *Building Information Modeling* (BIM) merupakan pemanfaatan model bangunan tiga dimensi untuk menghasilkan berbagai dokumen proyek, seperti estimasi biaya, perhitungan volume, gambar tampak, potongan, detail konstruksi, serta

rendering. Setiap perubahan pada elemen dalam model akan mempengaruhi semua gambar proyek. (Ferry dan Indrastuti, 2020).

Dalam pelaksanaan proyek konstruksi, perencanaan yang matang menjadi hal penting untuk mengendalikan aspek biaya, waktu, dan tenaga kerja. Hal ini memastikan agar biaya tidak melampaui kontrak kerja, mutu sesuai spesifikasi, serta penyelesaian proyek tepat waktu. Kompleksitas kegiatan konstruksi juga menuntut adanya pengelolaan proyek yang baik melalui optimalisasi seluruh sumber daya. Berbagai alternatif penyelesaian baik metode, strategi atau lain sebagainya perlu diimplementasikan untuk mendukung tercapainya tujuan proyek tersebut (Sudjatmiko & Jayadi, 2023).

Koespiadi et al. (2019) melakukan penelitian tentang pembangunan gedung rangka baja sepuluh lantai. Untuk melakukannya, dengan membandingkan dua sistem, yaitu sistem loncat dua lantai dan sistem konvensional. Pada tahap awal, telah dilakukan pemodelan gedung rangka baja sepuluh lantai untuk mendapatkan desain rangka baja. Setelah itu, masing-masing sistem melakukan analisis waktu penyelesaian dan pengendalian bahaya tekuk.

Manurung et al. (2023) menganalisis biaya dan waktu pekerjaan struktur antara rangka atap *portal truss* dan rangka atap *portal truss* baja. Struktur model truss memerlukan biaya yang lebih tinggi, tetapi mereka akan lebih cepat selesai dan bertahan lebih lama.

Dengan menggunakan metode jalan kritis, Wicaksono dan Setiawan (2023), mereka menyelidiki pengendalian waktu konstruksi. Mereka menghitung dampak kecelakaan terhadap durasi waktu dan jumlah biaya proyek pembangunan struktur rangka atap baja. Penelitian ini menggunakan metode CPM dan *crashing* sebagai tahap pertama. Setelah itu, data primer dan sekunder dikumpulkan dan dianalisis menggunakan metode ini.

Kambu et al. (2020) menyelidiki penerapan teknik pelaksanaan khusus saat membangun pusat distribusi di Sulawesi Utara. Metode pelaksanaan

konstruksi baja adalah salah satu cara untuk menjalankan proyek konstruksi dengan cepat.

Sofyan et al. (2024) melakukan analisis strategi adaptasi dan solusi pencegahan overhead biaya pada gedung industri empat lantai yang menggunakan portal baja, yang dibangun dengan kombinasi struktur beton bertulang dan baja. Staff QS yang tidak mengupdate harga baru, yang menghasilkan nilai signifikansi *overrun cost* sebesar 97,5%, dan kesalahan dalam analisis harga satuan, yang menghasilkan nilai signifikansi *overrun cost* sebesar 95,0%.

2. METODE PENELITIAN

Pelaksanaan konstruksi struktur baja mencakup rangkaian metode dan prosedur yang dirancang untuk menjamin pekerjaan berlangsung dengan aman, efisien, serta sesuai dengan spesifikasi perencanaan. Proses ini menuntut pemahaman yang komprehensif terhadap beragam potensi risiko dalam proyek konstruksi.

A. Proses Desain

Menurut Akers et al. (2000), desain bangunan adalah proses mengumpulkan seluruh informasi tentang konstruksi sebuah bangunan yang harus memenuhi persyaratan pemilik, serta persyaratan kesehatan, keselamatan, dan kenyamanan masyarakat. Tujuan utama proses desain, yaitu mengumpulkan seluruh informasi tentang konstruksi bangunan, dapat dicapai melalui output seperti gambar, rencana, penjelasan tentang apa yang akan dibangun, spesifikasi material.

B. Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan konstruksi, menurut Jawat (2017), diperlukan untuk mencapai sasaran pelaksanaan konstruksi agar produk akhirnya menjadi bangunan fisik. Konstruksi dilakukan dengan metode tertentu. Metode pelaksanaan konstruksi menggunakan gagasan rekayasa yang bergantung pada hubungan antara persyaratan dalam dokumen, keadaan teknis di lapangan, dan seluruh sumber

daya yang tersedia. Dalam konstruksi, metode pelaksanaan konstruksi melibatkan penyusunan dan desain prosedur pekerjaan serta prosedur pelaksanaan dan penentuan peralatan yang digunakan untuk menyelesaikan pekerjaan. Adapun proses pelaksanaan konstruksi baja, meliputi tahapan dengan *checklist* pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Checklist Tahapan Pelaksanaan Konstruksi Baja

Tahapan	Checklist
Persiapan	Gambar rencana lengkap dan dipahami
	Jadwal kerja yang realistis
	Kebutuhan material terhitung dengan cermat
	Tenaga kerja yang kompeten dan berpengalaman
	Logistik terencana dengan baik
	Keamanan dan keselamatan kerja terjamin
	Material sesuai spesifikasi dan kualitas terjamin
	Lokasi proyek bersih dan siap kerja
	Jalan akses terbangun dengan baik
	Pondasi siap dan stabil
	Perancah terpasang dengan aman
	Fasilitas kerja tersedia dan memadai
Tahapan	Checklist
Pemasangan	Balok baja diperiksa sebelum diangkat
	Crane yang tepat digunakan
	Balok terpasang dengan presisi
	Sambungan balok sesuai spesifikasi
	Kolom baja diperiksa sebelum diangkat
	Crane yang tepat digunakan
	Kolom terpasang dengan presisi
	Sambungan kolom dengan balok sesuai spesifikasi
	Atap baja diperiksa sebelum diangkat
	Crane yang tepat digunakan
	Atap terpasang dengan presisi
	Sambungan atap dengan struktur sesuai spesifikasi
	Penyangga diperiksa sebelum dipasang
	Penyangga terpasang dengan benar dan aman
Tahapan	Checklist
	Sambungan penyangga dengan struktur sesuai spesifikasi
	Balok baja diperiksa sebelum diangkat
	Crane yang tepat digunakan
	Balok terpasang dengan presisi
	Sambungan balok sesuai spesifikasi

C. Kinerja Proyek

Dimiyati dan Nurjaman (2014) menyatakan bahwa tujuan utama suatu proyek adalah mencapai kinerja optimal dalam aspek biaya, mutu, waktu, dan keselamatan kerja. Hal tersebut dicapai melalui pelaksanaan tahapan pekerjaan

yang mencakup persiapan, perencanaan, penjadwalan, pelaksanaan, serta pengendalian secara cermat dan terperinci. Dalam rangka memenuhi target akhir proyek, khususnya pada proyek pemerintah, kontraktor diwajibkan untuk menaati ketentuan kerja yang telah ditetapkan. Undang-Undang Jasa Konstruksi No.11 Tahun 2017 Pasal 47–48 mengatur bahwa ruang lingkup kontrak kerja konstruksi meliputi tanggung jawab penyedia jasa atas hasil bangunan, kewajiban penggunaan tenaga kerja konstruksi bersertifikat, kejelasan metode pelaksanaan, penerapan standar K3L, pembuktian kelayakan alat dan material sesuai standar, serta penyediaan jaminan risiko. Dengan bantuan perangkat lunak *Building Information Modeling (BIM)*, tim proyek dapat mensimulasikan pemasangan struktur baja sebelum pekerjaan aktual dimulai, sehingga potensi hambatan lebih mudah terdeteksi dan risiko kesalahan pemasangan dapat ditekan.

E. Pengukuran Tingkat Risiko

Tingkat risiko pada suatu proyek ditentukan oleh sejumlah aspek, antara lain identifikasi peristiwa risiko, peluang atau frekuensi terjadinya, serta tingkat keparahan (*severity*) dari konsekuensi yang muncul. Menurut Stam et al. (2004), tingkat risiko dihitung melalui perkalian antara skor probabilitas dan skor dampak yang diperoleh dari responden. Dalam proses penilaian risiko, terdapat beberapa kriteria utama yang dijadikan dasar pengukuran, yaitu:

- Peristiwa risiko, yakni suatu kejadian yang berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap pelaksanaan proyek.
- Probabilitas, yaitu tingkat peluang terjadinya suatu peristiwa yang tidak diinginkan.
- Dampak, yakni besarnya efek yang akan mempengaruhi aktivitas lain apabila peristiwa tersebut muncul. Menurut *PMBOK Guide (2004)*, tingkat risiko dapat dinyatakan secara matematis dengan rumus berikut:

$$R = P \times I \quad \dots (1)$$

Keterangan

R = Nilai risiko (*risk*)

P = Kemungkinan terjadinya risiko
 (*probability*)

I = Tingkat dampak yang ditimbulkan risiko
 Komponen risiko dinilai dari masukan responden, lalu probabilitas (P) dan dampak (I) digabungkan melalui *Severity Index* (SI). Menurut Al Hammad (2000), nilai SI ditetapkan dengan rumus berikut:

$$SI = \frac{\sum_{i=0}^4 a_i x}{4 \sum_{i=0}^4 x_i} \quad \dots (2)$$

F. Populasi Dan Sampel Penelitian

Populasi adalah orang yang dapat memberikan data dan informasi untuk penelitian, atau sekumpulan orang yang dipilih oleh penulis untuk memberikan data dan informasi (Renald, 2015). Penentuan ukuran sampel dilakukan agar hasil penelitian memiliki tingkat validitas yang dapat dipertanggungjawabkan. Dengan tingkat kepercayaan 90%, maka diperoleh tingkat kesalahan sebesar 10%. Kondisi ini memungkinkan peneliti menentukan jumlah minimal responden yang memenuhi syarat *margin of error* 10%. Mengingat populasi tenaga ahli bidang konstruksi gedung dalam proyek industri sebanyak 50 orang, maka penentuan sampel menggunakan formula Slovin:

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \quad \dots (3)$$

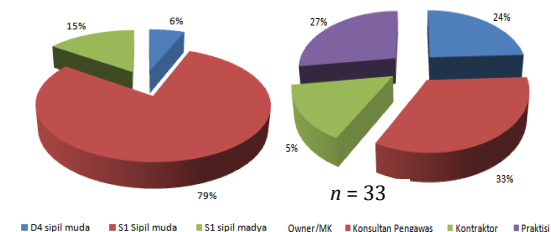
$$n = \frac{50}{1 + 50 \cdot (0,1)^2}$$

$$= \frac{50}{1 + 0,5} \approx 34$$

Sehingga responden yang diperlukan sebanyak 34 orang, tenaga ahli teknik sipil dengan kualifikasi minimal Ahli Muda desain dan pengawas konstruksi bangunan, pelaksana konstruksi teknik sipil serta akademis ahli bangunan gedung. Untuk proses analisis, dilakukan terhadap 33 orang responden, karena ada 1 orang responden tidak mengembalikan isian kuesioner. Untuk *expert* (nara sumber) ditentukan sebanyak 9 (sembilan) orang yang diminta untuk melakukan verifikasi terhadap penentuan

kriteria dan sub kriteria serta hasil analisis isian dari 33 orang responden.

Responden yang digunakan dalam penelitian ini disajikan secara rinci pada Gambar 1, yang memperlihatkan distribusi sampel berdasarkan populasi tenaga ahli konstruksi gedung.



Gambar 1. Pendidikan & Jenis Pekerjaan Responden

G. Rancang Analisis

Dalam penelitian ini digunakan pendekatan kuantitatif dengan instrumen berupa kuesioner yang diberikan kepada ahli dalam bidang perencanaan maupun pelaksanaan konstruksi bangunan. Analisis prioritas desain dilakukan menggunakan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dengan metode *comparative judgement*, yaitu menilai dua kriteria secara berpasangan. Proses tersebut bertujuan untuk mengukur tingkat kepentingan relatif antar kriteria, yang pada akhirnya menjadi dasar perhitungan bobot. Penilaian mengacu pada skala 1-9 menurut Saaty, di mana setiap nilai menunjukkan derajat kepentingan suatu kriteria terhadap kriteria lainnya:

- 1 : Kedua Kriteria Sama Penting (*Equal Importance*)
 - 3 : Kriteria (A) Sedikit Lebih Penting (*Moderate Importance*) dibandingkan (B)
 - 5 : Kriteria(A) Lebih Penting (*Strong Importance*) dibanding dengan (B)
 - 7 : Kriteria (A) Sangat Lebih Penting (*Very Strong Importance*) dibandingkan (B)
 - 9 : Kriteria (A) Mutlak Lebih Penting (*Extreme Importance*) dibandingkan (B)
- Dan jika ragu-ragu antara 2 skala, maka ambil nilai tengahnya yaitu: 2, 4, 6 dan 8.

Penentuan prioritas dalam metode AHP dilakukan berdasarkan hasil perbandingan berpasangan dari seluruh kriteria. Prioritas ditetapkan melalui bobot

yang diperoleh dari matriks AHP, dimulai dari nilai terbesar hingga terkecil. Dibandingkan dengan metode lain, AHP memiliki keunggulan karena mampu mempertimbangkan stabilitas atau ketahanan hasil analisis melalui uji sensitivitas keputusan. AHP menggunakan hierarki dari kriteria hingga subkriteria dan dapat menyederhanakan persoalan yang kompleks maupun tidak terstruktur menjadi model yang fleksibel serta mudah dipahami.

H. Analisis Probabilitas dan Dampak

Tahapan pertama dalam proses analisis adalah perhitungan *severity index*. Hasil perhitungan tersebut kemudian dikategorikan menurut tingkat probabilitas dan dampak yang ditimbulkan, dengan acuan penetapan nilai pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Severity Index (Frekuensi dan Impact)

No.	Severity Index	Keterangan
1	$0,00 \leq SI \leq 12,5$	Tidak pernah
2	$12,5 \leq SI \leq 37,5$	Jarang
3	$37,5 \leq SI \leq 62,5$	Kadang-kadang
4	$62,5 \leq SI \leq 87,5$	Sering
5	$87,5 \leq SI \leq 100$	Selalu

Sumber: Flanagan, 1993

I. Analisis Strategi Pelaksanaan Konstruksi Baja

Tahapan penelitian yang dilakukan langkah ini, yaitu untuk analisis strategi pelaksanaan konstruksi pada bangunan struktur baja gedung industri adalah:

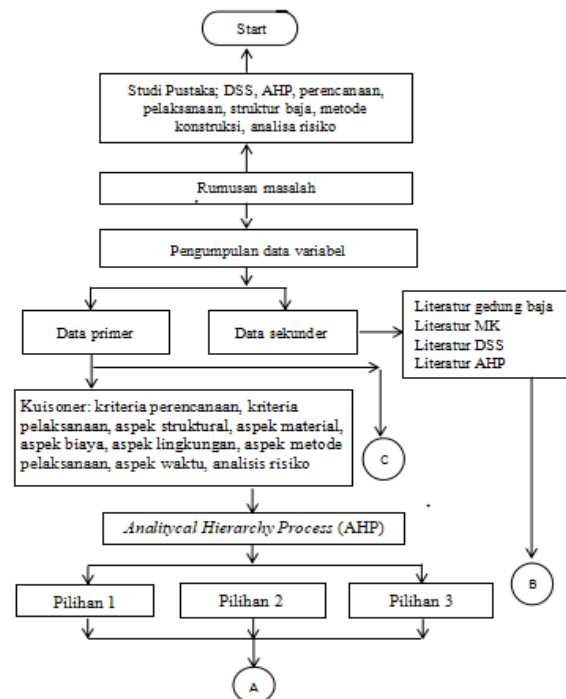
- Proses identifikasi terhadap faktor-faktor eksternal, baik peluang maupun ancaman, yang mungkin muncul dalam penyusunan strategi pelaksanaan
- Mengidentifikasi faktor internal, yaitu kekuatan dan kelemahan, yang berpengaruh terhadap proses penyusunan strategi adaptasi risiko pada pelaksanaan konstruksi baja.
- Hasil EFAS dan IFAS kemudian diinterpretasikan dan dikembangkan dalam bentuk strategi adaptasi pelaksanaan konstruksi baja berdasarkan hasil analisis faktor risiko, tingkat risiko dan metode penanganan risiko. Tingkat

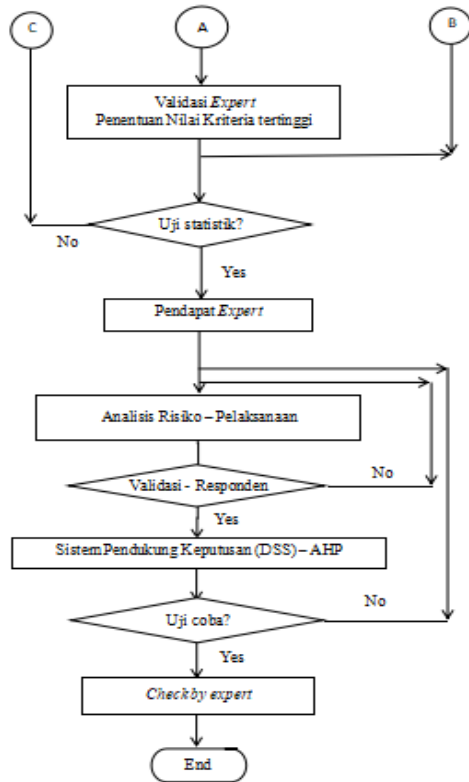
risiko dibagi menjadi tiga bagian; rendah (warna hijau), sedang (warna kuning) dan tinggi (warna merah).

- Mengidentifikasi tingkat risiko pada masing-masing kriteria dan memberikan strategi untuk mengatasi sejumlah tingkat risiko yang potensial skala yang medium ataupun tinggi.

J. Flow Chart

Tahapan pelaksanaan penelitian digambarkan secara sistematis melalui bagan alir yang ditunjukkan pada Gambar 2.





Gambar 2. Flow Chart

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemilihan Tipe Alat Berat Erection

Untuk pemilihan tipe struktur konstruksi baja dan alat berat erection konstruksi baja, dilakukan validasi oleh 9 orang *Expert* terhadap 7 kriteria dan sub kriteria yang ditentukan. Kuesioner diisi dan divalidasi oleh *Expert* untuk mendapatkan bobot kriteria yang dominan dan tipe model struktur baja dan tipe alat berat erection konstruksi baja, yang ditampilkan pada Tabel 3 – 6 berikut.

Untuk tipe struktur konstruksi bangunan baja. Rekapitulasi hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Jenis konstruksi baja

Tipe Struktur Baja & Sambungan	λ_{maks}	CI	RI	CR	Hasil
Baja Struktur Space Truss dan Las	7,1444	0,0241	1,32	1,8228%	Konsisten
Baja Struktur Portal Truss dan Las+Baut	7,2767	0,0461	1,32	3,4936%	Konsisten
Baja Struktur Portal Frame dan Las+Baut	7,6588	0,1098	1,32	8,3187%	Konsisten

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 3, seluruh tipe bangunan industri menunjukkan nilai konsistensi yang berada

dalam batas yang dapat diterima (<10%). Selanjutnya, urutan hierarki yang memberikan pengaruh terbesar terhadap jenis struktur konstruksi baja ditunjukkan melalui bobot prioritas kriteria pada Tabel 4.

Tabel 4. Bobot Priority Kriteria Dominan

Kriteria	Space Truss	Portal truss	Portal Frame	Hirarki
Efisiensi Waktu	0,3109	0,3218	0,3210	1
Kemudahan Pelaksanaan	0,2279	0,2979	0,2196	2
Transportasi Material	0,1870	0,1648	0,1877	3
Ekonomis/Biaya	0,1050	0,0948	0,1036	4
Teknis Perkuatan Baja	0,0799	0,0595	0,0739	5
Teknis Profil Baja	0,0516	0,0328	0,0523	6
Operasional Joint	0,0516	0,0328	0,0523	7

Analisis pada Tabel 5 mengindikasikan bahwa semua kategori alat berat erection memperoleh nilai konsistensi sesuai dengan persyaratan (<10%). Hierarki dengan bobot prioritas tertinggi menjadi faktor penentu yang paling signifikan dalam pemilihan tipe alat berat erection.

Tabel 5. Perhitungan Consistency Ratio

Tipe Alat Berat Erection	λ_{maks}	CI	RI	CR	Hasil
Crawler Crane	7,1788	0,0298	1,32	2,2576%	Konsisten
Tower Crane	7,0190	0,0032	1,32	0,2401%	Konsisten
Mobile Crane	7,1444	0,0241	1,32	1,8228%	Konsisten

Tabel 6. Bobot Priority Kriteria Yang Dominan

Kriteria	Tower Crane	Mobile Crane	Crawler Crane	Hirarki
Teknis Erection Baja	0,2327	0,3218	0,3109	1
Efisiensi Waktu	0,1731	0,2979	0,2279	2
Operasional Crane	0,1663	0,1648	0,1870	3
Teknis Sambungan Baja	0,1501	0,0948	0,1050	4
Ekonomis/ Biaya	0,1298	0,0595	0,0799	5
Operasi Transfer Material	0,0837	0,0328	0,0516	6
Kemudahan Pelaksanaan	0,0642	0,0328	0,0516	7

Tabel 7 – 9 menunjukkan sub kriteria dengan tingkat risiko berdampak waktu sangat tinggi, tinggi dan sedang.

Tabel 7. Risiko Berdampak Sangat Tinggi

Variabel Risiko	Sumber Risiko	SI frekuensi	SI dampak	Frekuensi x dampak
45 Kekurangan ketersediaan material	Proses Konstruksi	4	5	20
46 Kesulitan transportasi alat berat	Proses Konstruksi	4	5	20
47 Kecelakaan kerja di lapangan	Risiko Fisik	5	4	20
48 Kesalahan merangkai profil baja	Risiko Fisik	4	5	20
49 Kesalahan marking posisi sambungan	Proses Konstruksi	5	4	20
50 Kesalahan estimasi biaya	Informasi Proyek	4	5	20
51 Transportasi vertikal tidak memadai	Proses Konstruksi	4	5	20
52 Lokasi dekat sekali gedung eksisting	Informasi Proyek	4	5	20
53 Gangguan operasional gedung	Informasi Proyek	5	4	20

Tabel 7 menunjukkan nilai frekuensi x dampak untuk semua variabel risiko adalah 20, dan sangat konsisten.

Tabel 8. Risiko Berdampak Waktu Tinggi

Variabel Risiko	Sumber Risiko	SI frekuensi	SI dampak	Frekuensi x dampak
3 Gambaran informasi yang disampaikan (format, isi rincian, konversi) tidak jelas	Informasi Proyek	4	4	16
4 Tidak sesuainya IT dengan yang dibutuhkan	Efisiensi Waktu	4	4	16
5 Metode presentasi pada rapat yang kurang baik	Risiko Personal	4	4	16
7 Alur informasi dan koordinasi yang berbelit-belit dan Konsultan Perencana ke owner	Efisiensi Waktu	4	4	16
8 Jadwal pendistribusian informasi antara Konsultan- owner yang tidak berjalan	Informasi Proyek	4	4	16
12 Jadwal pendistribusian informasi yang tidak sesuai kebutuhan	Informasi Proyek	4	4	16
17 Kondisi tanah lunak di lokasi site	Risiko Fisik	4	4	16
20 Sistem kolom khusus	Ekonomis/biaya	4	4	16
21 Penutup atap khusus	Proses Konstruksi	4	4	16
24 Sistem pendingin ruangan khusus	Proses Konstruksi	4	4	16
25 Sistem tenaga listrik khusus	Proses Konstruksi	4	4	16
33 Kurangnya ketersediaan informasi mengenai pemilihan teknologi yang akan diterapkan	Proses Konstruksi	4	4	16
34 Penggunaan e-mail yang tidak maksimal	Proses Konstruksi	4	4	16
38 Kurangnya kemampuan berkomunikasi horizontal pada internal kontraktor	Informasi Proyek	4	4	16
42 Spesifikasi Teknis untuk Pelaksanaan	Informasi Proyek	4	4	16
43 Pekerjaan tanah dan pondasi tiang pancang	Informasi Proyek	4	4	16

Tabel 9. Risiko Berdampak Waktu Sedang

Variabel Risiko	Sumber Risiko	Rata-rata frekuensi	Rata-rata dampak	Frekuensi x dampak
1 Penentuan peran Konsultan Manajemen Konstruksi	Risiko Personal	4	3	12
2 Penggunaan telepon yang tidak maksimal	Informasi Proyek	4	3	12
6 Kurang jelasnya alur approval dari kontraktor ke Owner	Informasi Proyek	3	4	12
9 Jadwal pendistribusian informasi yang tidak sesuai kebutuhan	Informasi Proyek	4	3	12
10 Kemampuan komunikasi formal yang tidak baik (pada rapat, laporan, memo, dll)	Risiko Personal	4	3	12
11 Pemahaman Perencanaan Komunikasi yang tidak baik	Risiko Personal	4	3	12
13 Kondisi tanah lunak di lokasi site	Risiko Fisik	4	3	12
14 Diperlukan galian tanah	Risiko Fisik	4	3	12
15 Struktur bawah (underground) kompleks	Risiko Fisik	3	4	12
16 Sistem plat lantai dasar perlu diaplikasikan	Ekonomis/biaya	4	3	12
18 Sistem kolom khusus	Ekonomis/biaya	4	3	12
19 Konsep arsitektur hijau diperlukan	Ekonomis/biaya	4	3	12
22 Site Development perlu diaplikasikan	Ekonomis/biaya	4	3	12
23 Sistem transportasi vertikal khusus	Ekonomis/biaya	4	3	12
26 Plumbing air bersih khusus	Proses Konstruksi	4	3	12
27 Plumbing air kotor khusus	Ekonomis/biaya	4	3	12
28 Pengelolaan limbah padat	Risiko Fisik	4	3	12
29 Lingkungan Site terpengaruh	Risiko Fisik	4	3	12
30 Gambar DED perlu dilengkapi dan tidak sesuai	Risiko Personal	4	3	12
31 Dokumen Spesifikasi umum dan dokumen visual site	Informasi Proyek	4	3	12
32 Dokumen Spesifikasi Teknis	Informasi Proyek	4	3	12
35 Alur Koordinasi yang tidak sesuai antara perencanaan dengan pelaksanaan	Informasi Proyek	4	3	12
36 Jadwal pendistribusian informasi antara Kontraktor- Owner yang tidak berjalan	Informasi Proyek	3	4	12
37 Jadwal pendistribusian informasi yang kurang tersosialisasi dan dipahami	Informasi Proyek	4	3	12
39 Penyusunan agenda dalam meeting yang tidak baik	Informasi Proyek	4	3	12
40 Faktor eksternal terprediksi	Ekonomis/biaya	4	3	12
41 Faktor internal teknis tenaga kerja	Risiko Personal	4	3	12
44 Spesifikasi Teknis untuk Pelaksanaan	Risiko Fisik	4	3	12

Hasil analisis memperlihatkan bahwa semua kategori pelaksanaan konstruksi gedung memiliki tingkat konsistensi sesuai dengan kriteria yang dipersyaratkan, yaitu kurang dari 10%. Susunan hierarki dengan bobot prioritas dominan mencerminkan aspek yang paling menentukan dalam pemilihan metode pelaksanaan konstruksi gedung, yang disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Bobot Priority Kriteria Dominan

Kriteria	Menanggulangi	Mengalihkan	Merubah	Hirarki
Risiko Fisik	0,3109	0,3210	0,3218	1
Pelaksanaan Konstruksi	0,2279	0,2196	0,2979	2
Risiko Non Fisik	0,1870	0,1877	0,1648	3
Efisiensi Waktu	0,1050	0,1036	0,0948	4
Ekonomis/ Biaya	0,0799	0,0739	0,0595	5
Risiko Personal	0,0516	0,0523	0,0328	6
Informasi Proyek	0,0377	0,0418	0,0282	7

Dari Tabel 10 hasil analisis kriteria risiko fisik yaitu merubah atau mengurangi (*reduction*) yang paling dominan dengan nilai 32,18%. Mengubah metode mitigasi risiko kecelakaan kerja di lapangan dan mengurangi kesalahan merangkai profil baja merupakan variabel utama yang harus dilakukan.

B. Uji Multikolinearitas

Hasil analisis multikolinearitas menunjukkan adanya hubungan korelasional antar variabel independen dalam model regresi. Rincian temuan tersebut disajikan pada Tabel 11.

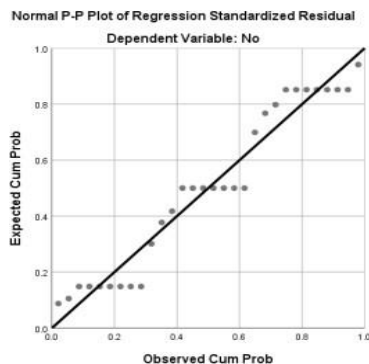
Tabel 11. Hasil Uji ANOVA

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	133.500	6	22.250	.242	.958 ^b
	Residual	2114.000	23	91.913		
	Total	2247.500	29			

a. Dependent Variable: No

b. Predictors: (Constant), Desain Penyebab Risiko, Risiko Fisik, Risiko Personal, Informasi Proyek, Proses Konstruksi, Efisiensi Waktu

Tabel 11 menunjukkan bahwa nilai F_{hitung} sebesar 0,242 lebih kecil dari pada F_{tabel} yaitu 6,23. Kondisi ini mengindikasikan bahwa variabel independen (X) dan variabel dependen (Y) memiliki hubungan yang linear. Diagram pencar dan persamaan regresinya ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Scatter Plot Beserta Garis Regresi

C. Analisis Regresi Linear Berganda

Tujuan penerapan metode analisis ini adalah untuk menguji hubungan antara variabel R sebagai variabel bebas dengan efektivitas operasional (Y_r) sebagai variabel terikat. Analisis hubungan tersebut dilakukan melalui regresi multilinear yang diformulasikan dalam bentuk persamaan linear lima variabel berikut:

$$Y_r = 0,778R_1 + 0,498R_2 + 0,333R_3 + 0,346R_4 + 0,102R_5 + 0,444R_6 ; \text{dimana:}$$

R_1 = Risiko Personal; R_2 = Risiko Fisik dan Non Fisik ; R_3 = Efisiensi Waktu ; R_4 = Pelaksanaan Konstruksi ; R_5 = Informasi Proyek ; R_6 = Ekonomis/Biaya

Temuan dari analisis risiko regresi dapat dilihat pada Tabel 12:

Tabel 12. Analisa Regresi Linear Berganda

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t
	B	Std. Error	Beta	
(Constant)	1.000	.000		.
Risiko Personal	.778	.000	-.553	.
Risiko Fisik	.498	.000	.000	.
Informasi Proyek	.333	.000	.399	.
Proses Konstruksi	.346	.000	.000	.
Efisiensi Waktu	.102	.000	.000	.
Ekonomis/Biaya	.444	.000	.655	.

a. Dependent Variable: Desain Penyebab Risiko

D. Uji Normalitas

Pengujian normalitas pada data dilakukan melalui *Kolmogorov-Smirnov Test* dengan bantuan perangkat lunak SPSS. Metode ini termasuk dalam uji asumsi klasik yang digunakan untuk menilai distribusi residual. Model regresi dapat dikategorikan baik apabila residualnya berdistribusi normal. Rincian hasil uji disajikan pada Tabel 13:

Tabel 13. Hasil uji normalitas SPSS

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		
Unstandardized Residual		
N		30
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.0000000
	Std. Deviation	.0000000
Most Extreme Differences	Absolute	.308
	Positive	.308
	Negative	-.155
Test Statistic		.308
Asymp. Sig. (2-tailed)		.000 ^c

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

c. Lilliefors Significance Correction.

E. Uji Multikolinearitas

Pengujian multikolinearitas pada penelitian ini dilaksanakan menggunakan analisis *Variance Inflation Factor* (VIF). Kriteria yang digunakan untuk pengambilan keputusan ditetapkan berdasarkan aturan berikut:

1. Jika nilai *tolerance* $\geq 0,10$, maka dapat disimpulkan tidak terdapat masalah multikolinearitas.
2. Jika nilai VIF $< 10,00$, maka model regresi dinyatakan bebas dari multikolinearitas

Tabel 14 menampilkan hasil analisis multikolinearitas berdasarkan perhitungan VIF dengan program SPSS.

Tabel 14. Hasil analisis VIF *Coefficients*

Model		Collinearity Statistics	
		Tolerance	VIF
1	(Constant)		
	Risiko Personal	.334	2.997
	Risiko Fisik	.310	4.594
	Informasi Proyek	.345	2.898
	Efisiensi Waktu	.308	3.246
	Desain Penyebab Risiko	.418	2.394

F. Uji Heterosdastitas

Metode *Rank-Spearman* digunakan untuk menguji heteroskedastisitas, dengan cara mengkorelasikan variabel independen terhadap nilai absolut residual. Hipotesis nol (H_0) mengasumsikan tidak terdapat indikasi heteroskedastisitas. Hasil analisis menunjukkan tingkat signifikansi 0,48 yang lebih besar dari 0,05. Dengan demikian, model regresi dapat dikatakan tidak mengalami heteroskedastisitas.

4. KESIMPULAN

Merujuk pada temuan analisis serta pembahasan, penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Model desain konstruksi baja pada bangunan industri pabrik baru berdasarkan validasi dari 9 (sembilan) orang *Expert* terhadap 7 (tujuh) kriteria dengan urutan 3 (tiga) teratas yang paling dominan, yaitu: Efisiensi Waktu, Kemudahan Pelaksanaan, dan Transportasi Material Baja. Untuk urutan pilihan alternatif jenis konstruksi baja untuk bangunan pabrik yaitu: struktur baja *portal frame* dan las + Baut dengan nilai *consistency ratio* = 8,318%. Untuk urutan pilihan alternatif jenis *crane* digunakan: *crawler crane* dengan nilai *consistency ratio* = 2,2576% atau *mobile crane* sebagai alternatif.

2. Strategi pelaksanaan konstruksi baja pada bangunan industri pabrik baru terhadap hasil analisis dari pendapat 33 orang responden, dengan memperhatikan beberapa aspek kriteria risiko yang tinggi, yaitu: penggunaan Model struktur *Portal frame*, penggunaan *Crawler Crane / Mobile crane* untuk *erection* baja struktural yang lebih efisien dan mudah, Tipe penanganan risiko yaitu Merubah Risiko dengan bobot = 32,18% dengan kriteria risiko fisik yang paling dominan, mengubah metode mitigasi risiko kecelakaan kerja di lapangan dan mengurangi kesalahan merangkai profil baja.
3. Menghasilkan integrasi model desain struktur baja dan strategi pelaksanaan konstruksi baja pada bangunan industri untuk fungsi pabrik yang lebih efektif dan efisien, yang juga dilakukan validasi dari *Expert*.

Daftar Pustaka

- Anggraini L. dkk. (2021), Permodelan Proses Desain terhadap Peningkatan Pelaksanaan Proyek Konstruksi dengan Pendekatan Sistem Dinamik. Semarang. ISBN: 978-623-7986-22-5
- Arissaputra dan Appriilia (2024), Alternatif Desain Struktur Baja Bentang 24 Meter Struktur Bangunan 3 Lantai. *Astratech Teknologi*, Volume. 15, No. 1
- Gumilar S.A. dan Handoyotomo (2020), Sustainability in Architecture Analisa Cost Effective Struktur Baja Terhadap Efisiensi Bangunan Dengan Metode Integrated Project Delivery (IPD) Studi Kasus: Office & Workshop Bengkel di Bekasi, Jawa Barat, *SIA Series* 7, pp.11-21
- Hamka M. dan Harjono (2019), Sistem Pendukung Keputusan Prioritas Perbaikan Gedung Menggunakan Metode Analytic Hierarchy Process dan Profile Matching *TECHNO* Vol.20, No.1, April 2019, Hal. 41~52, P-ISSN: 1410-8607, E-ISSN: 2579-9096
- Hocking (2020) Analisa Efisiensi Desain antara Balok Kastela dengan Balo Konvensional (Studi Kasus: *Workshop Smelter* Tanjung Uncang). *Journal of*

- Civil Engineering and Planning Vol. 1, No. 1
- Ikhshan dan Irwansyah (2024)** Perencanaan Bangunan Pabrik Menggunakan Profil Rangka Baja. *Jurnal Bidang Aplikasi Teknik Sipil dan Sains* Vol. 3, No.2 P-ISSN 2809-2473 E-ISSN 2809-2562
- Kambu F.S., Tjakra J., dan Walangitan D.R.O. (2020)**, Metode Pelaksanaan Konstruksi Baja Pada Pekerjaan Proyek Pembangunan Kantor Distribusi Office Center Airmadidi Minahasa Utara, *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 8, No. 5, pp. 823-826, ISSN: 2337-6732
- Koespiadi et al. (2019)** Pelaksanaan Sistem Loncat 2 Lantai untuk Gedung Bertingkat Rangka Baja. *Paduraksa, Volume 8 Nomor 2*, P-ISSN: 2303-2693 E-ISSN: 2581-2939
- Kridasantausa I. (2011)**, Decision Support System for Irrigation Maintenance in Indonesia: A Multi-Objective Optimization Study, *Water Policy*, Vol. 13(1), pp. 18-27
- Manurung et al. (2023)** Analisis Biaya dan Waktu Pekerjaan Konstruksi Struktur Rangka Atap Baja Portal Frame dan Portal Truss. *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)*, Volume 06 Nomor 01 p-ISSN 2614-5707 e-ISSN 2715-1581
- Metode Pelaksanaan Pekerjaan Struktur Baja** <https://tekniksipil.id/metode-pelaksanaan-pekerjaan-struktur-baja/>
- Putra dan Setiawan (2023)**, Analisa Perbandingan Biaya dan Waktu dalam Metode Pelaksanan pengencangan baut M-170 pada Pemasangan Rangka Atap Baja Stasiun KCIC Karawang. *Jurnal Darma Agung*, Volume: 31, Nomor: 3, Juni 2023, 30-39.
<https://doi.org/10.46930/v.31.i3.3318>
- Raflis B.E.Y., dan Ripsky Rayshanda (2018)**, Manfaat penggunaan Building Information Modelling (BIM) Pada proyek konstruksi sebagai media komunikasi stakeholders, *CESD Vol 01*, No.02 Desember 2018
- Raflis Y. Rahmawati Y., Ulfiyati C., dan Utomo (2017)**. Pengaruh Komunikasi Tim Kerja Terhadap Keberhasilan Kolaborasi Desain pada Konsultan Teknik di Jawa Tengah, *Konferensi Nasional Teknik Sipil*
- Saaty T.L. (2008)**, Decision Making with the Analytic Hierarchy Process, *Int. J. Services Sciences*, Vol. 1, No. 1, Inderscience Enterprises Ltd.
- Sanjery K.A.A.A., Rahman N.A., and Baharudin K.S. (2011)**, Aspects of Reliability and Quality Management of Buildings in Accordance with Eurocode, *Procedia Engineering*, Volume 20, 2011, pp. 166-173
- Subagyo S., Nurokhman N., dan Suharyanto I. (2022)** Analisis Struktur Atas Rangka Baja pada Bangunan Industri Peternakan Unggas, *CivETech Journal (Civil Engineering and Technology Journal)*, Vol. 4, No.2, pp. 65-77
- Sudirman I. dan Widjajani (1996)**, Ciri-ciri Sistem Pendukung Keputusan, Gava Media, Yogyakarta.
- Suhendi C., Paikun P., dan Kamal N. (2020)**, Evaluasi Perencanaan Struktur Bangunan Pabrik Batu Imitasi Menggunakan Struktur Balok Baja Kastela (Honeycomb), *Jurnal Rekayasa Teknologi Nusa Putra*. Vol. 6, No. 2, Hal. 32-40.
- Sukamto D.D., Amarwatib A., dan Karopebokab B. (2024)**, Analisis Pemilihan Metode Pelaksanaan Untuk Produktivitas Erektion Struktur Baja Stasiun Light Rail Transit Bekasi, *KaLIBRASI (Karya Lintas Ilmu Bidang Rekayasa Arsitektur, Sipil, Industri)*, Vol. 7, No. 1, Maret 2024, pp. 47-59, e-ISSN: 2656-7768, DOI: <https://doi.org/10.37721/kalibrasi.v7i1.1427>
- Suparno M.W. (2015)**, Manajemen Risiko dalam Proyek Konstruksi, *Jurnal Bangunan*, Vol. 20, No. 1, pp. 1-12
- Suryadi K. dan Ramdhani A. (2002)**, Sistem Pendukung Keputusan, Penerbit Remaja Rosdakarya, Bandung
- Suryawan et al. (2023)**, Analisis Manajemen Konstruksi Proyek Pada Pembangunan Gudang Baja di Kenjeran Surabaya. *Jurnal Anggapa Volume 2*, Nomor 1
- Taroun A. (2012)**, Decision Support System (DSS) for Construction Project Risk Analysis and Evaluation via

Evidential Reasoning (ER), Ph.D Thesis,
Faculty of Humanities, University of
Manchester, United Kingdom.

Taufik M, Wibowo K, and Rochim A., The
Analysis of Risk Management of
Projects with Lumpsum Contract
System and Unit Price Contract System
Using AHP Method, Int. Conference on
Coastal and Delta Areas 3, 392-399

**Turskis Z., Edmundas Kazimieras
Zavadskas, and Friedel Peldschus
(2009)**, Multi-criteria Optimization
System for Decision Making in
Construction Design and Management,
ISSN 1392-2785 Engineering
Economics.. No 1 (61), Economics of
Engineering Decisions, pp. 7-17.

Wahyuni et al. (2023). Analisis
Perbandingan Biaya dan Waktu
Konstruksi Baja dan Beton (Studi
Kasus: Proyek Pergudangan Logis
Mako Ksatrian Yon 1 Marinir Gedangan
Sidoarjo). *Concrete Construction and
Civil Integration Technology*, Volume
01, Nomor 01, April 2023

**Wibisana I.W.A., Indra S., dan Santosa A.
(2020)** Perencanaan Portal Baja
Menggunakan Metode LRFD pada
Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan
Universitas Negeri Malang JB. e-journal
Gelagar Vol. 2 No. 1, pp 25-35

Wibowo H. (2010), MADM-TOOL: Aplikasi
Uji Sensitivitas Untuk Model MADM
Menggunakan Metode SAW dan
TOPSIS. Seminar Nasional Aplikasi
Teknologi Informasi 2010, ISSN: 1907-
5022 hal E-56-E61, Universitas Islam
Indonesia, Yogyakarta.

Wicaksono dan Setiawan (2023) Analisa
Pengendalian Waktu Menggunakan
Metode Critical Path Methode (CPM)
pada Proyek Struktur Rangka Atap Baja
Stasiun KCIC Karawang. *Jurnal Darma
Agung*, Volume: 31, Nomor: 3, Juni
2023, 50-58.
[https://dx.doi.org/10.46930/ojsuda.v3
i1.3330](https://dx.doi.org/10.46930/ojsuda.v3i1.3330)

Wideman R. Max. (1992), Project and
Program Risk Management: A Guide to
Managing Project Risks and
Opportunities, Volume 6, Project
Management Institute.