

## Analisis Biaya dan Waktu Pelaksanaan Proyek Konstruksi Baja VS Beton

Tuah Rizky Harianja<sup>1</sup>, Edison Hatoguan Manurung<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mpu Tantular, Indonesia

Email: [trizkyharianja96@gmail.com](mailto:trizkyharianja96@gmail.com)<sup>1</sup>, [edisonmanurung2010@yahoo.com](mailto:edisonmanurung2010@yahoo.com)<sup>2</sup>

---

### Article Info

#### Article history:

Received January 02, 2026

Revised January 11, 2026

Accepted January 17, 2026

---

#### Keywords:

Comparison of Costs, Time,  
Structural Frames, Steel,  
Concrete

---

### ABSTRACT

*In the development of the construction industry today, many efforts have been made to improve work quality and productivity. One of these efforts is the shift from conventional methods to more modern approaches. This shift has introduced innovations such as replacing conventional concrete structural systems with steel structural systems as an alternative solution. The research method used is a literature study, which involves gathering data and sources related to the topic examined. The purpose of this study is to compare the costs and construction time between concrete frame structures and steel frame structures. Based on the analysis results, the cost for a concrete frame structure in a three-story building is Rp 1,355,572,919.07, while the cost for a steel frame structure for the same building is Rp 1,924,251,134.72. From this comparison, the concrete frame structure is cheaper by Rp 568,678,218.65. Furthermore, the construction time required to complete the work using a concrete frame structure is 435 days, whereas the steel frame structure requires 397 days for the same building size and level of complexity. Thus, the steel frame structure is more time-efficient by 38 days compared to the concrete frame structure.*

*This is an open access article under the CC BY-SA license.*



---

### Article Info

#### Article history:

Received January 02, 2026

Revised January 11, 2026

Accepted January 17, 2026

---

#### Keywords:

Perbandingan Biaya, Waktu,  
Struktur rangka, Baja, Beton

---

### ABSTRACT

Dalam perkembangan dunia konstruksi sekarang ini, sangat banyak usaha yang dilakukan untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas kerja. Salah satunya usaha yang dilakukan adalah mengganti cara-cara konvensional menjadi cara yang lebih modern. Hal ini memunculkan inovasi dari sistem struktur beton diganti menggunakan sistem struktur baja sebagai alternatif lain dari sistem konvensional. Metode penelitian yang dilakukan adalah studi literatur yaitu menghimpun data atau sumber-sumber yang berhubungan dengan topik yang diangkat dari suatu penelitian. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui biaya dan waktu pelaksanaan pekerjaan antara struktur rangka beton dan struktur rangka baja. Berdasarkan Hasil analisa, Biaya untuk rangka struktur beton pada gedung lantai 3 adalah sebesar Rp. 1.355.572.919,07 dan untuk struktur rangka baja pada bangunan yang sama sebesar Rp. 1.924.251.134,72. Dari Hasil analisa tersebut, terdapat selisih perbedaan biaya dalam pengerjaan rangka struktur beton lebih murah sebesar Rp. 568.678.218,65. Adapun waktu yang dibutuhkan dalam menyelesaikan pekerjaan menggunakan struktur rangka beton adalah 435 hari, sedangkan waktu yang dibutuhkan pada pekerjaan struktur rangka baja adalah 397 hari dengan ukuran bangunan yang sama dan tingkat kesulitan yang sama. Sehingga struktur rangka baja lebih efisien waktunya 38 hari dibandingkan struktur rangka beton.

**Corresponding Author:**

Tuah Rizky Harianja

Universitas Mpu Tantular

Email: [trizkyharianja96@gmail.com](mailto:trizkyharianja96@gmail.com)**PENDAHULUAN**

Perkembangan teknologi konstruksi saat ini mengalami kemajuan pesat, yang ditandai dengan hadirnya berbagai jenis material dan peralatan yang modern. Dalam perkembangan dunia konstruksi sekarang ini, sangat banyak usaha yang dilakukan untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas kerja, baik secara struktur maupun manajemen konstruksi.[1] Setidaknya upaya yang dilakukan merupakan usaha untuk memperbaiki dan mencapai hasil kerja yang lebih baik. Dalam pelaksanaan suatu proyek konstruksi, semakin besar proyek yang dikerjakan maka semakin besar pula kendala yang akan dihadapi oleh perusahaan jasa konstruksi. Para pengusaha konstruksi selalu berusaha merealisasikan proyeknya tanpa mengesampingkan tercapainya efisiensi biaya dan waktu namun tetap memenuhi mutu.[2] Pemilihan suatu metode sangat penting dalam pelaksanaan suatu proyek konstruksi karena dengan metode pelaksanaan yang tepat dapat memberikan hasil yang maksimal terutama jika ditinjau dari segi biaya maupun dari segi waktu.[3] Dengan adanya kemajuan teknologi yang semakin pesat dalam dunia konstruksi, memungkinkan pengelola proyek untuk memilih salah satu metode pelaksanaan konstruksi tertentu, dari beberapa alternatif metode pelaksanaan konstruksi yang ada. Salah satu usaha yang dilakukan oleh pengelola proyek adalah mengganti cara-cara konvensional menjadi lebih modern. Hal ini memunculkan inovasi sistem struktur beton diganti menggunakan baja sebagai alternatif lain dari sistem konvensional.[4]

**TINJAUAN PUSTAKA****Beton**

Dalam konstruksi, beton adalah sebuah bahan bangunan komposit yang terbuat dari kombinasi agregat dan pengikat semen. Bentuk paling umum dari beton adalah beton semen Portland, yang terdiri dari agregat mineral (biasanya kerikil dan pasir), semen dan air. Biasanya dipercayai bahwa beton mengering setelah pencampuran dan peletakan. Sebenarnya, beton tidak menjadi padat karena air menguap, tetapi semen berhidrasi, mengelem komponen lainnya bersama dan akhirnya membentuk material seperti batu.[5] Beton digunakan untuk membuat perkerasan jalan, struktur bangunan, pondasi, jembatan penyeberangan, struktur parkir, dasar untuk pagar/gerbang.[6]

**Baja**

Baja adalah logam paduan dengan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,2% hingga 2,1% berat sesuai grade-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat.[7] Unsur paduan

lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah mangan (manganese), krom (chromium), vanadium, dan nikel. Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Kandungan karbon yang besar dalam baja mengakibatkan meningkatnya kekerasan tetapi baja tersebut akan rapuh dan tidak mudah dibentuk.[6]

### **Perbandingan Baja Dan Beton**

Berikut ini secara detail perbandingan konstruksi baja dan beton:

#### **1. Segi Keamanan**

Beton : Material beton adalah sebuah material yang aman apabila dikaitkan dengan bahaya api, angin dan benturan.[8] Hal tersebut tentunya berkaitan dengan karakternya yang kaku dan berat.[9] Dengan design yang baik, maka beton juga digunakan untuk memenuhi kriteria yang diharapkan dalam keperluan untuk ketahanan gempa bumi.[10]

Baja : Kelebihan baja adalah berkaitan dengan beban saat terjadi gempa bumi, angin dan beban-beban yang dinamis lainnya. Hal ini diperoleh dari sifat yang dimiliki oleh materialnya yang sangat daktil, dimana baja tersebut mampu berdeformasi dengan besar tanpa khawatir langsung runtuh sehingga langsung menyerap energy yang dinamis dengan sangat baik .

#### **2. Segi kekuatan**

Beton : memiliki kekuatan maksimalnya sekitar 100Mpa[9], sedangkan Baja : Apabila dibandingkan dengan beton, baja terbilang lebih unggul.[11] Hal ini bisa kita ambil contoh untuk baja yang berjenis BJ37 dengan  $f_y$  sekitar 240 MPa dan  $f_u$  sekitar 370 MPa. Jika kita melihat dari data tersebut maka bisa dikatakan apabila baja ini 3 kali lebih kuat jika dibandingkan dengan beton.[12]

#### **3. Segi harga**

Beton : Harga dari material beton umumnya relatif mahal.[13] Hal ini karena pengerjaannya yang cukup lama sehingga membuat harga pekerja menjadi membengkak sedangkan Baja :Baja mempunyai kemudahan dalam penggunaannya. Hal tersebut dapat diartikan jika waktu yang diperlukan untuk bisa membangun bangunan dengan baja akan lebih cepat. Dengan begitu, maka kita bisa lebih menghemat banyak biaya daripada beton.[13]

#### **4. Segi waktu pelaksanaan**

Beton : Khusus untuk bahan material beton cast in place, jadi waktu yang digunakan dalam melaksanakan konstruksi relatif lebih panjang atau lama.[13] Namun saat ini masih bisa ditangani dengan adanya beton precast.[14] Sedangkan Baja: Apabila dilihat dari waktu pengerjaannya, struktur yang dimiliki baja merupakan pilihan untuk masa depan.[15] Dengan sistem fabric on site nya waktu dan mutu yang dimiliki oleh baja ini terbilang dapat dikurangi, sehingga biaya konstruksi dapat dikurangi.[16]

### **Rangka**

Rangka bangunan adalah bagian dari bangunan yang merupakan struktur utama pendukung berat bangunan dan beban luar yang bekerja padanya.[9] Untuk bangunan sederhana, rangka bangunan dapat dibuat dari tiang-tiang (kolom) yang saling dihubungkan oleh batang-batang datar (balok). Pada bangunan yang permanen, rangka bangunan dibuat

dari konstruksi beton dengan dinding dari pasangan batu bata atau batako.[17] Untuk bangunan bertingkat sederhana/rendah, umumnya berupa struktur rangka portal (frame structure) yaitu kerangka yang terdiri dari kolom dan balok.[18]

### **Balok**

Balok adalah bagian dari struktur yang berfungsi sebagai penyalur momen menuju struktur kolom. Balok dikenal sebagai elemen lentur, yaitu elemen struktur yang dominan memikul gaya dalam berupa momen lentur dan gaya geser. Menurut Prof Widodo dalam buku “Analisis Tegangan Regangan” balok beton memiliki sifat rangka yang dibebani secara tetap dalam jangka waktu yang lama.[19]

### **Kolom**

kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil. Fungsi kolom adalah sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi.[9] Menurut SNI 2847-2013, ada empat ketentuan terkait perhitungan kolom:

1. Kolom harus direncanakan untuk memikul beban aksial terfaktor yang bekerja pada semua lantai atau atap dan momen maksimum yang berasal dari beban terfaktor pada satu bentang terdekat dari lantai yang ditinjau. Kombinasi pembebanan yang menghasilkan rasio maksimum dari momen terhadap beban aksial juga harus diperhitungkan.
2. Pada konstruksi rangka atau struktur menerus pengaruh dari adanya beban tidak seimbang pada lantai atau atap terhadap kolom luar atau dalam harus diperhitungkan. Demikian pula pengaruh beban eksentris.
3. Dalam menghitung momen akibat beban gravitasi yang bekerja pada kolom, ujung-ujung terjauh kolom dapat dianggap jepit, selama ujung-ujung tersebut menyatu (monolite) dengan komponen struktur lainnya.
4. Momen-momen yang bekerja pada setiap level lantai harus didistribusikan pada kolom diatas dan dibawah lantai tersebut berdasarkan kekakuan relatif kolom dengan juga memperhatikan kondisi pada ujung kolom.

### **Biaya**

Perhitungan rencana anggaran biaya pada proyek yang menggunakan baja sebagai material rangka secara umum tidak ada perbedaan, yaitu harus melalui rencana anggaran biaya. Begitu juga biaya pelaksanaan pekerjaannya. Perhitungan anggaran biaya juga melalui beberapa tahapan perhitungan atau estimasi[20], pada tahapan perencanaan terdapat Owner Estimate, yaitu estimasi biaya yang disusun oleh pemilik proyek dan Engineer Estimate, yaitu estimasi biaya yang disusun oleh perencana.[21]

### **Tenaga Kerja**

Tenaga kerja adalah sumber daya manusia yang memiliki kemampuan dan keahlian yang berbeda-beda sesuai dengan bidang keahliannya. Adapun kemampuan tenaga kerja

meliputi jenis dan macam-macam tenaga kerja dan jumlah tenaga kerja dan jumlah tenaga kerja yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan.

Penyediaan tenaga kerja pada umumnya meliputi tenaga kerja biasa, tenaga kerja terampil dan tenaga kerja ahli. Untuk setiap pekerjaan memerlukan tenaga kerja tertentu baik mengenai jumlah maupun keahlian dalam menyelesaikan pekerjaan tersebut. Secara teoritis keperluan rata-rata jumlah tenaga kerja dapat dihitung dari total ruang lingkup kerja proyek yang dinyatakan dalam jam, orang atau bulan dibagi dengan kurun waktu perencanaan.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bagian ini mengkaji rancangan penelitian, objek penelitian mengenai berapa besar anggaran biaya yang dibutuhkan untuk pemasangan rangka beton dan pemasangan rangka baja.

### **Studi Literatur**

Studi literatur adalah metode yang digunakan untuk menghimpun data atau sumber-sumber yang berhubungan dengan topik pembahasan yang diangkat dalam suatu penelitian. Studi literatur bisa didapat dari berbagai sumber, seperti: buku, jurnal, pustaka dan alamat web.

### **Pengumpulan data**

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### **1. Data sekunder**

Data diambil dengan metode dokumentasi, yaitu pengamatan kondisi fisik dan aktivitas di lapangan juga untuk memperoleh data analisa harga satuan yang meliputi volume pekerjaan, harga bahan, upah kerja, dan harga satuan pekerjaan.

#### **2. Data primer**

Data dikumpulkan dengan metode observasi, yaitu data tentang besarnya biaya pelaksanaan pekerjaan struktur rangka baja di proyek, yang meliputi volume pekerjaan, harga bahan, upah kerja dan harga satuan pekerjaan diproyek.

### **Perhitungan Volume**

Perhitungan masing-masing volume pekerjaan disesuaikan dengan gambar kerja yang telah ditentukan agar didapatkan hasil yang mendekati kenyataan. Untuk gedung bertingkat perhitungan volume dihitung secara terpisah sesuai dengan dimensi dan spesifikasi yang telah ditentukan. Cara menghitung volume beton kolom dan cara perhitungan menggunakan data lantai 1 adalah sebagai berikut:

Kolom K1 40x40

Volume beton =  $p \times l \times t \times \text{Jumlah kolom}$

$$= (0,40 \text{ m} \times 0,40 \text{ m} \times 4 \text{ m}) \times 22$$

$$= 0,64 \text{ m}^3 \times 22$$

$$= 14,08 \text{ m}^3$$

Kolom K2 30x40

Volume beton =  $p \times l \times t \times \text{Jumlah kolom}$

$$= (0,30 \text{ m} \times 0,40 \text{ m} \times 4 \text{ m}) \times 11$$
$$= 5,28 \text{ m}^3$$

Kolom K3 30x30

Volume Beton =  $p \times l \times t \times \text{Jumlah Kolom}$

$$= (0,30 \text{ m} \times 0,30 \text{ m} \times 4 \text{ m}) \times 5$$
$$= 1,8 \text{ m}^3$$

### Volume Pekerjaan Besi Kolom

Menghitung berat besi untuk dimensi kolom satuan yang digunakan untuk volume besi kolom adalah kilogram (kg). Perhitungan besi kolom terdiri dari dua bagian, yakni perhitungan beras besi untuk tulangan pokok dan berat besi untuk besi sengkang.

Lt 1, kolom K1

$$\text{Volume Besi (m}^3\text{)} = \text{Luas lingkaran penampang besi} \times \text{panjang besi} \times \text{jumlah tulangan pokok}$$
$$= (1/4 \times \pi \times D^2) \times 4 \times 12$$
$$= (0,25 \times 3,14 \times 0,016 \times 0,016) \times 4 \text{ m} \times 12$$
$$= 0,00965 \text{ m}^3$$

Jadi, volume untuk seluruh kolom K1 adalah

$$= 0,00964608 \text{ m}^3 \times 22$$
$$= 0,21221376 \text{ m}^3$$

Berat jenis besi (  $\text{kg/m}^3$  ) =  $7.850 \text{ kg/m}^3$  ( ketetapan berdasarkan hasil percobaan penimbangan SNI besi). Jadi, berat besi tulangan pokok (kg)

$$= 0,21221376 \text{ m}^3 \times 7.850 \text{ kg/m}^3$$
$$= 1.665,878 \text{ kg}$$

Selain berat besi tulangan utama, juga harus dihitung berat besi sengkang. Besi yang digunakan untuk sengkang Ø10 mm dengan jarak antara sengkang 0,1 cm. Jadi jumlah sengkang untuk kolom setinggi 4 m adalah:

$$\text{Jumlah sengkang untuk 1 kolom (Tinggi kolom/ Jarak sengkang +1)}$$
$$= 4 / 0,1 \text{ m} + 1$$
$$= 41 \text{ buah}$$

Panjang sengkang adalah keliling kolom dikurangi tebal selimut beton. Tebal selimut beton untuk dimensi kolom di penelitian ini adalah 0,03m.

K1

$$\text{Panjang sengkang} = (\text{Keliling kolom-Selimut beton}) + (6 \times \text{Diameter besi sengkang})$$
$$= ((0,4 - 0,03) \times 4) + (6 \times 0,01)$$
$$= 1,48 + 0,06$$
$$= 1,54 \text{ meter ( 1 sengkang )}$$

Jadi, total panjang sengkang

$$= 1,54 \text{ m} \times 902 \text{ buah}$$
$$= 1.389.08 \text{ meter}$$

Menghitung berat besi sengkang kita gunakan rumus beras besi tulangan pokok, yaitu sebagai berikut:

$$\text{Volume besi K1} = \text{Luas lingkaran penampang besi Sengkang} \times \text{panjang besi sengkang}$$
$$= (1/4 \times \pi \times D^2) \times \text{panjang besi sengkang}$$

$$\begin{aligned} &= (0,25 \times 3,14 \times 0,01 \times 0,01) \times 1.389,08\text{m} \\ &= 0,10904 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Jadi, berat besi sengkang kolom (kg) =  $0,10904 \text{ m}^3 \times 7.850 \text{ kg/m}^3 = 855,986 \text{ kg}$

Total berat besi untuk satu kolom (kg) = berat besi tulangan pokok + berat besi sengkang kolom

$$\begin{aligned} &= 1.665,878 \text{ kg} + 855,985 \text{ kg} \\ &= 2.521,864 \text{ kg untuk kolom K1} \end{aligned}$$

### **Pekerjaan Bekisting Kolom**

Untuk menghitung volume bekisting untuk dimensi kolom satuan yang digunakan untuk volume bekisting kolom adalah meter persegi ( $\text{m}^2$ ). Menghitung luas bekisting kolom adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Luasan bekisting K1} &= (\text{Panjang} \times \text{Tinggi kolom} \times 2) + (\text{Lebar} \times \text{Tinggi Kolom} \times 2) \\ &= (0,40 \text{ m} \times 4 \times 2) + (0,40 \times 4 \times 2) \\ &= 3,2 \text{ m}^2 + 3,2 \text{ m}^2 \\ &= 6,4 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Jadi volume bekisting kolom untuk tiang kolom ukuran 40/40 adalah  $140,8 \text{ m}^2$

### **Pekerjaan Balok Sloof**

Untuk menghitung biaya yang dibutuhkan untuk mengerjakan beton sloof per kubik, terlebih dahulu dihitung volume beton. Untuk menghitung volume beton sloof adalah sebagai berikut: Volume beton = Panjang x Lebar x Total panjang sloof

$$\begin{aligned} &= 0,25 \times 0,40 \times 169 \\ &= 16,9 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

### **Pekerjaan volume besi sloof**

Untuk menghitung besi untuk dimensi sloof pada Skripsi ini. Satuan yang digunakan untuk menghitung berat besi sloof adalah kilogram (kg). Rumus untuk menghitung volume besi adalah: berat besi = volume besi ( $\text{m}^3$ ) x nerat jenis besi ( $\text{kg/m}^3$ ).

Untuk menghitung berat besi tulangan pokok sloof adalah: Volume besi ( $\text{m}^3$ ) = Luas lingkaran penampang besi x panjang besi x jumlah tulangan pokok sloof

$$\begin{aligned} &= (1/4 \times \pi \times D^2) \times \text{panjang besi} \times 8 \\ &= (0,25 \times 3,14 \times 0,014 \times 0,014) \times 169 \times 8 \\ &= 0,208019 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Berat jenis besi ( $\text{kg/m}^3$ ) =  $7.850 \text{ kg/m}^3$  ( ketetapan berdasarkan hasil penimbangan besi. Jadi, berat besi tulangan pokok sloof (kg)

$$\begin{aligned} &= 0,208019 \text{ m}^3 \times 7.850 \text{ kg/m}^3 \\ &= 1.632,95 \text{ kg} \end{aligned}$$

Selain tulangan utama, berat besi harus dihitung adalah sengkang sloof. Besi yang digunakan untuk sengkang berdiameter 10 mm dengan jarak 0,1 meter. Jadi jumlah sengkang untuk sloof sepanjang 169 meter adalah :

Jumlah sengkang (1 sloof )

$$= \text{Panjang sloof/ Jarak sengkang} + 1$$



$$= 169/0,1\text{m} + 1$$

$$= 1.691 \text{ buah}$$

Panjang sengkang adalah keliling sloof dimensi diatas dikurangi selimut beton. Tebal selimut beton untuk dimensi sloof adalah 0,03 m.

Panjang sengkang = (Keliling sloof – selimut beton) + ( 6 x Diameter besi sengkang)

$$= ((0,25 - 0,03) \times 2) + ((0,4 - 0,03) \times 2) + (6 \times 0,01)$$

$$= 0,44 + 0,74 + 0,06$$

$$= 1,24 \text{ meter}$$

Jadi, total panjang sengkang = 1,24 m x 1.691 buah = 2.096,84 meter

Untuk menghitung berat sengkang digunakan rumus yang sama untuk berat besi tulangan pokok yaitu: Volume besi ( $\text{m}^3$ ) = Luas lingkaran penampang besi sengkang x panjang besi sengkang

$$= (1/4 \times \pi \times D^2) \times 2.096,84$$

$$= (0,25 \times 3,14 \times 0,01 \times 0,01) \text{ m}^2 \times 2.096,84$$

$$= 0,16460194 \text{ m}^3$$

Berat besi tulangan pokok ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) =  $7.850 \text{ kg}/\text{m}^3$  (ketetapan berdasarkan hasil penimbangan besi. Jadi berat besi tulangan pokok ( $\text{kg}$ ) =  $0,16460194 \text{ m}^3 \times 7.850 \text{ kg}/\text{m}^3$

$$= 1.292,125 \text{ Kg}$$

Jadi, total berat besi untuk satu sloof yang terdiri dari besi tulangan pokok dan besi sengkang sloof adalah:

Total berat besi sloof ( $\text{kg}$ ) = Berat besi tulangan pokok + Berat besi sengkang sloof

$$= 1.632,95 + 1.292,125$$

$$= 2.925,075 \text{ kg}$$

### Bekisting sloof

Untuk menghitung volume bekisting untuk sloof. Satuan yang digunakan adalah meter persegi ( $\text{m}^2$ ). Karena sloof berada diatas pondasi, maka volume bekisting sloof hanya dihitung sisi tegaknya. Sisi bawah tidak dihitung. Untuk menghitung luas bekisting sloof adalah: Luas bekisting = ( Sisi tegak sloof x 2 x panjang sloof)

$$= ( 0,4 \times 2 \times 169 \text{ m})$$

$$= 135,2 \text{ m}^2$$

**Tabel 1.** Volume Bekisting Kolom Dan Balok

Jenis Volume ( $\text{m}^2$ )	Jenis Volume ( $\text{m}^2$ )
Sloof 135,2	Sloof 135,2
Balok Lt 1 261,8	Balok Lt 1 261,8
Jenis Volume ( $\text{m}^2$ )	Jenis Volume ( $\text{m}^2$ )
Balok Lt 2 254,45	Balok Lt 2 254,45
Ring Balok 131,75	Ring Balok 131,75
Kolom Lt1 226,4	Kolom Lt1 226,4
Kolom Lt 2 215,08	Kolom Lt 2 215,08
Kolom Lt3 190	Kolom Lt3 190
<b>Total 1.414,68</b>	<b>Total 1.414,68</b>



**Tabel 2.** Volume Beton Dan Volume Berat Besi

Jenis Pekerjaan	Volume Beton m <sup>3</sup>	Volume Berat Besi	Volume Berat Besi	Total Volume
Sloof	16,9	1.632,95	1.292,12 5	2.925,07 5
Kolom K1				
Lt 1	14,08	1.665,87 8	855,986	2.521,86 4
Kolom K2				
Lt 1	5,28	694,116	372,409	1.066,52 5
Kolom K3				
Lt 1	1,8	252,406	144,012	396,418
Balok				
20/40 Lt 2	14,6	1.234,37	1.116,38	2.350,75
Balok				
30/50 Lt 2	5,25	422,73	333,094	755,824
Balok				
30/60 Lt 2	7,56	608,732	451,409	1.060,14 1
Kolom K1				
Lt 2	13,376	1.582,58	814,23	2.396,81
Kolom K2				
Lt 2	5,016	659,41	354,243	1.013,65 3
Kolom K3				
Lt 2	1,71	239,785	136,987	376,772
Balok				
25/40 Lt 3	14,6	1.234,37	1.116,38	2.350,75
Balok				
25/45 Lt 3	3,94	422,73	289,835	712,565
Balok				
25/60 Lt 3	6,3	507,276	425,466	932,742
Kolom				
K2 Lt 3	10,03	1318,82	708,486	2.027,30 6
Kolom				
K3 Lt 3	5,47	767,314	438,358	1.205,67 2
Ring				
balok				
25/30	3,07	254,673	263,399	518,072
Ring				
balok				
25/35	8,92	633,578	717,249	1.350,82 7

**Tabel 3.** Hasil Volume Tiap Lantai

Jenis	Jumlah/ Panjang	Volume beton (m <sup>3</sup> )	Berat besi total (kg/m <sup>3</sup> )
Sloof	169	16,9	2.925,075
Kolom Lantai 1	38	21,16	3.984,807
Kolom Lantai 2	38	20,10	3.787,235
Kolom Lantai 3	38	15,50	3.232,978
Balok Lantai 2	223	27,41	4.166,715
Balok Lantai 3	223	24,84	3.996,06
Ring Balok	143	12	1.868,85
<b>Jumlah</b>		<b>137,916</b>	<b>23.961,72</b>

Setelah volume untuk beton selesai kita peroleh selanjutnya menghitung volume untuk struktur baja. Maka kita hitung volumenya sesuai gambar rencana. Biasanya volume baja dalam satuan kg, maka dihitung terlebih panjang materialnya berapa kemudian lihat Tabel 4 berapa beratnya / m (kg/m). Dari Tabel 4 kita akan mendapatkan volume material baja dalam kg dibawah:

**Tabel 4.** Tabel Berat Besi Baja WF

No	Ukuran (mm)	Panjang (m)	Berat (kg)	Berat/m (kg)
1	WF 100 x 50 x 5 x 7	12	112	9,333
2	WF 125 x 60 x 6 x 8	12	158	13,200
3	WF 148 x 100 x 6 x 9	12	253	21,100
4	WF 150 x 75 x 5 x 7	12	168	14,000
5	WF 175 x 90 x 5 x 8	12	217	18,100
6	WF 198 x 99 x 4,5 x 7	12	218	18,200
7	WF 200 x 100 x 3,2 x 4,5	12	143	11,917
8	WF 200 x 100 x 5,5 x 8	12	256	21,333
9	WF 248 x 124 x 5 x 8	12	308	25,700
10	WF 250 x 125 x 6 x 9	12	355	29,600

Baja yang digunakan untuk kolom dan balok dalam Skripsi ini adalah baja WF 200 x 100 x 5,5 x 8 mm diketahui pemasangan baja WF untuk tiang kolom sebanyak 38 tiang dengan tinggi bangunan 11,8 m, dengan panjang bangunan 31m dan lebar bangunan 9m jika dilihat dari gambar rencana. Maka, untuk mengetahui banyak material yang digunakan adalah sebagai berikut : Kolom = Tinggi bangunan x berat baja per meter

$$= 11,8\text{m} \times 21,333\text{kg/m}$$

$$= 251,73 \text{ kg}$$

Jadi, kebutuhan baja WF pada semua tiang kolom yaitu: = Jumlah kolom x berat baja untuk 1 kolom baja

$$= 38 \times 251,73 \text{ kg}$$

$$= 9.565,7 \text{ kg}$$

Maka, kebutuhan untuk tiang kolom baja adalah = 9.565,7 kg

Balok Panjang : 31 m x 4

: 124 m

Lebar : 9 m x 11

: 99 m

Maka, kebutuhan panjang balok WF :

$$= \text{Panjang} \times \text{berat baja permeter}$$

$$= 124 \text{ m} \times 21,333 \text{ kg}$$

$$= 2.645,3 \text{ kg}$$

Maka, kebutuhan lebar balok baja WF :

$$= 99 \text{ m} \times 21,333 \text{ kg}$$

$$= 2.111,9 \text{ kg}$$

Jadi, kebutuhan baja WF keseluruhan untuk balok lantai 2 :

$$= \text{Panjang} + \text{Lebar}$$

$$= 2.645,3 + 2.111,9 \text{ kg}$$

$$= 4.757,3 \text{ kg}$$

Maka, kebutuhan balok untuk lantai 3 sama dengan lantai 2 dikarenakan ukuran panjang dan lebar baloknya sama. Jadi hasil lantai 2 dikalikan 2 :

$$= 4.757,3 \text{ kg} \times 2$$

$$= 9.515 \text{ kg}$$

Ring balok

$$\text{Panjang ring balok} = 31 \text{ m} \times 3$$

$$= 93 \text{ m}$$

$$\text{Lebar ring balok} = 9 \text{ m} \times 5$$

$$= 45 \text{ m}$$

Maka, kebutuhan panjang ring balok baja adalah: = Panjang ring balok x berat baja per meter

$$= 97 \text{ m} \times 21,333 \text{ kg}$$

$$= 2.069,3 \text{ kg}$$

Sedangkan kebutuhan lebar ring balok baja adalah = Lebar ring balok x berat baja per batang

$$= 45 \text{ m} \times 21,333 \text{ kg}$$

$$= 960 \text{ kg}$$

Maka, kebutuhan keseluruhan ring balok baja adalah sebagai berikut = Panjang ring balok + lebar ring balok

$$= 2.069,3 \text{ kg} + 960 \text{ kg}$$

$$= 3.029,3 \text{ kg}$$

Jadi, seluruh berat total baja adalah :

$$= 9.565,7 + 9.515 + 3.029,3$$

$$= 22.110 \text{ kg}$$

### Perhitungan Biaya Pelaksanaan

Sebelum kita menghitung biaya pelaksanaan yang dibutuhkan untuk struktur rangka beton dan rangka baja ada beberapa tahapan yang harus kita penuhi. Adapun tahapan yang dimaksud yaitu:

- Harga upah
- Biaya pelaksanaan
- Harga bahan

**Tabel 5.** Daftar Harga Upah

No	Jenis Barang	Harga
1	Pekerja	102.000,00
2	Tukang Besi	140.200,00
3	Tukang Kayu	140.200,00
4	Tukang Las	140.200,00

5	Kepala Tukang	175.000,00
6	Mandor	150.000,00

### Harga bahan

Adapun harga satuan bahan dihitung berdasarkan Harga Satuan Pokok Kegiatan Padangsidempuan pada saat bangunan berjalan atau tahun anggaran 2019. Adapun harga satuan yang diperoleh dapat kita lihat pada Tabel 6 dibawah ini:

**Tabel 6.** Daftar Harga Bahan

No Jenis Barang (Rp)	Satuan	Harga Satuan
1. Semen Portland	kg	1.843,00
2. Pasir Beton	kg	214,05
3. Kerikil	kg	185,12
4. Air	L	99,00
5. Besi Beton	kg	21.800
6. Kawat Beton	kg	23.769
7. Kayu	m <sup>3</sup>	3.000.000,00
8. Paku 5-10	kg	25.000,00
9. Minyak Bekisting	L	
10. Balok Kayu	m <sup>3</sup>	3.000.000,00
11. Plywood 9mm	Lbr	233.042,00
12. Kayu ø8-10/4m	Btg	19.404,00
13. Solar	L	6.597,00
14. Minyak Pelumas	L	46.569,00
15. Kawat Las Listrik	kg	
16. Baja Profil IWF	kg	22.050,00

### Menghitung biaya pelaksanaan

Bersadarkan volume yang diperoleh di atas, sebelum kita menghitung biaya pelaksanaan yang dibutuhkan maka langkah berikutnya adalah menghitung biaya pelaksanaan baik biaya pelaksanaan rangka beton maupun rangka baja. Adapun analisa pekerjaan yang digunakan dihitung berdasarkan Analisa Harga Satuan Pokok. Adapun perhitungan biaya pelaksanaan Beton dan baja yaitu:

#### a. Beton

Berdasarkan analisa biaya pelaksanaan beton dalam satu kg dapat kita hitung berdasarkan data. Adapun data yang digunakan adalah Analisa Harga Satuan Pokok sebagai berikut.

**Tabel 7.** Membuat 1 m<sup>3</sup> Dinding Beton Mutu f' = 19,3 MPa (K225)

No	Uraian Koefisien	Kode	Satuan	
A	TENAGA			
	Pekerja	L.01	OH	10
	Tukang Batu	L.02	OH	0,275
	Kepala Tukang	L.03	OH	0,028
	Mandor	L.04	OH	0,083
B	BAHAN			
	Semen Portland 371.000		kg	698
	Pasir Beton		kg	1.047
	Kerikil		kg	215
	Air		L	
D	Jumlah (A+B+C)			
F	Harga Satuan Pekerjaan			

Setelah memperoleh data koefisien didapat, maka tahap selanjutnya adalah mengalikan koefisien dengan harga satuan yang sudah ada pada sub bab sebelumnya. Adapun contoh perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Pekerja} &= \text{koefisien} \times \text{harga satuan} \\
 &= 1,65 \times 102.000,00 \\
 &= 168.300
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil dari koefisien dan harga satuan diatas, maka dapat kita lihat perhitungan membuat beton 1 m<sup>3</sup> sesuai dengan Analisa Harga Satuan Pokok. Berdasarkan perhitungan jumlah keseluruhan total pekerjaan rangka struktur beton dapat kita lihat pada Tabel 8 dibawah ini:

**Tabel 8.** Jumlah Total Pekerjaan Rangka Struktur Beton

No	Jenis Pekerjaan	Analisa	Sat	Vol	Harga Satuan	Total Harga
<b>A Pekerjaan Beton</b>						
1	Pek.1 m <sup>3</sup> beton (k 225)	A.4.1.1.7	m <sup>3</sup>	124,46	1.272.465,20	175.493.310,52
2	Pek.Pembesian 10 kg	A.4.1.1.1.7	kg	18.949,724	25.124,44	602.024.796,44
3	Pek. Bekisting Sloof	A.4.1.1.21	m <sup>2</sup>	135.2	241.479,70	32.648.055,44
4	Pek. Bekisting Kolom	A.4.1.1.22	m <sup>2</sup>	631.48	421.714,10	266.304.019.87
5	Pek. Bekisting balok	A.4.1.1.23	m <sup>2</sup>	648	430.714,10	279.102.736,80
<b>SubTotal</b>						<b>1.355.572.919,07</b>

## b. Baja

Berdasarkan analisa biaya pelaksanaan rangka struktur baja dapat kita hitung berdasarkan data. Adapun data yang digunakan adalah Analisa Satuan Pokok sebagai berikut:

**Tabel 9.** Pemasangan 1 kg Rangka Kuda-kuda Baja

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien
<b>A TENAGA</b>				
	Pekerja	L.01	OH	0,060
	Tukang Batu	L.02	OH	0,060
	Kepala Tukang	L.03	OH	0,006
	Mandor	L.04	OH	0,003
<b>B BAHAN</b>				
	Besi WF		kg	1,150
<b>PERALATAN</b>				
<b>D</b>	<b>Jumlah (A+B+C)</b>			
<b>F</b>	<b>Harga Satuan Pekerjaan</b>			

Setelah diperoleh data koefisien didapat maka tahap selanjutnya adalah mengalikan koefisien dengan harga satuan yang sudah ada pada sub bab sebelumnya. Adapun contoh perhitungannya dalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Jumlah} &= \text{koefisien} \times \text{harga satuan} \\ &= 0,060 \times 102.000 \\ &= 6.120,00\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil dari koefisien dan harga satuan diatas, maka dapat kita lihat perhitungan pemasangan 1 kg besi profil sesuai dengan Analisa Harga Satuan Pokok. Berdasarkan perhitungan jumlah keseluruhan total pengerjaan rangka struktur baja dapat kita lihat pada Tabel 4.18 di bawah ini:

**Tabel 10.** Jumlah Total Pekerjaan Rangka Struktur Baja

No	Jenis Pekerjaan	Analisa	Sat	Vol	Harga Satuan	Total Harga
<b>A Pekerjaan Baja</b>						
1	Pemasangan 1kg Iwf	A.4.2.1.2	kg	22.110	41.389,50	915.102.027,71
2	Pek. 100 kg perakitan	A.4.2.1.3	kg	22.110	1.469,15	32.482.113,75
3	Pek. 10 cm pengelasan	A.4.1.1.21	kg	22.110	44.174,05	976.666.993,26
<b>SubTotal</b>						<b>1.924.251.134,72</b>

### Menghitung Waktu Pekerjaan Struktur Rangka Beton Dan Baja

Berdasarkan total volume lantai (1), (2) dan (3) yaitu dengan total volume Beton 137.916 m<sup>3</sup>, volume pembesian 23.961,72 kg, volume bekisting 1.414.68 m<sup>2</sup>. Adapun untuk mendapatkan waktu yang dibutuhkan dalam pengerjaan struktur rangka beton, maka tahap selanjutnya mencari nilai tim untuk pekerjaan struktur rangka beton rata-rata produktifitas perharinya, berdasarkan harga koefisien yang dipakai adalah :

#### a. Struktur Rangka Beton

Adapun koefisien yang dipakai dalam menghitung produktifitas pekerjaan rangka struktur beton dengan 10 pekerja, 5 tukang, 1 kepala tukang, 1 mandor adalah sebagai berikut:

Pekerja	: 1,650 OH
Tukang Batu	: 0,275 OH
Kepala Tukang	: 0,028 OH
Mandor	: 0,083 OH

Setelah kita mendapatkan produktifitas pekerjaan beton perhari maka langkah selanjutnya adalah menghitung berapa lama waktu yang dibutuhkan dalam pengerjaan beton dengan volume keseluruhan bangunan lantai (1), (2), dan (3). Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\text{Total} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Volume Pekerjaan Perhari}}$$

$$\text{Total} = \frac{137,916 \text{ m}^3}{3,63 \text{ m}^3}$$

$$\text{Total} = 7,59 = 8 \text{ hari}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, adapun waktu yang dibutuhkan untuk pekerjaan beton seluruhnya adalah 8 hari. Berdasarkan perhitungan, maka kita akan mendapatkan hasil dari waktu pengerjaan struktur rangka beton. Adapun waktu yang dibutuhkan untuk pekerjaan struktur rangka beton seluruhnya adalah :

$$8 \text{ hari} + 336 \text{ hari} + 7 \text{ hari} + 42 \text{ hari} + 43 \text{ hari} = 436 \text{ hari}$$

Maka, waktu yang dibutuhkan untuk pekerjaan struktur rangka beton keseluruhan adalah 436 hari.

#### **b. Struktur Rangka Baja**

Adapun koefisien yang dipakai dalam menghitung produktifitas pekerjaan rangka struktur baja dengan 10 pekerja, 5 tukang, 1 kepala tukang, 1 mandor adalah sebagai berikut:

Pekerja	: 0,060 OH
Tukang Besi	: 0,060 OH
Kepala Tukang	: 0,006 OH
Mandor	: 0,003 OH

Setelah kita mendapatkan produktivitas pekerjaan pemasangan 1 kg rangka kuda-kuda WF perhari, maka langkah selanjutnya adalah menghitung berapa lama waktu yang dibutuhkan dalam pengerjaan beton dengan volume keseluruhan bangunan lantai (1), (2), dan (3). Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\text{Total} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Volume Pasangan Perhari}}$$

$$\text{Total} = \frac{22,110}{16,67 \text{ kg}}$$

$$\text{Total} = 265,2 = 265 \text{ hari}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, waktu yang dibutuhkan untuk pemasangan 1 kg rangka kuda-kuda adalah 265 hari. Berdasarkan perhitungan-, maka kita akan mendapatkan hasil dari waktu pengerjaan struktur rangka baja. Adapun waktu yang dibutuhkan untuk pekerjaan struktur rangka baja seluruhnya adalah:

$$265 \text{ hari} + 44 \text{ hari} + 88 \text{ hari} = 397 \text{ hari}$$

Maka, waktu yang dibutuhkan untuk pekerjaan struktur rangka baja keseluruhan adalah 397 hari.



## Selisih Biaya Dan Waktu Pekerjaan Rangka Struktur Beton Dan Rangka Struktur Baja

Berdasarkan perhitungan biaya dan waktu pekerjaan struktur rangka beton dan rangka baja pada gedung lantai tiga (3) dengan ukuran bangunan gedung yang sama. Adapun hasil perhitungan dari biaya dan waktu pengerjaan struktur rangka beton dan struktur rangka baja adalah sebagai berikut:

### 1. Struktur Rangka Beton

Adapun hasil perhitungan total biaya keseluruhan pekerjaan struktur rangka beton yaitu sebagai berikut:

**Tabel 11.** Total Biaya Pekerjaan Struktur Rangka Beton

No	Jenis Pekerjaan	Analisa	Sat	Vol	Harga Satuan	Total Harga
<b>A Pekerjaan Beton</b>						
1	Pek.1 m <sup>3</sup> beton (K-225)	A.4.1.1.7	m <sup>3</sup>	124,46	1.272.465,20	175.493.310,52
2	Pek.Pembesian 10 kg	A.4.1.1.1.7	kg	18.949,724	25.124,44	602.024.796,44
3	Pek. Bekisting Sloof	A.4.1.1.21	m <sup>2</sup>	135,2	241.479,70	32.648.055,44
4	Pek. Bekisting Kolom	A.4.1.1.22	m <sup>2</sup>	631,48	421.714,10	266.304.019,87
5	Pek. Bekisting balok	A.4.1.1.23	m <sup>2</sup>	648	430.714,10	279.102.736,80
<b>SubTotal</b>						<b>1.355.572.919,07</b>

### 2. Struktur Rangka Baja

Sedangkan untuk perhitungan total biaya struktur rangka baja pada ukuran bangunan gedung yang sama dapat kita lihat perhitungan dibawah ini.

**Tabel 4.20.** Jumlah Total Pekerjaan Rangka Struktur Baja

No	Jenis Pekerjaan	Analisa	Sat	Vol	Harga Satuan	Total Harga
<b>A Pekerjaan Baja</b>						
1	Pemasangan 1kg Iwf	A.4.2.1.2	kg	22,110	41.389,50	915.102.027,71
2	Pek. 100 kg perakitan	A.4.2.1.3	kg	22,110	1.469,15	32.482.113,75
3	Pek. 10 cm pengelasan	A.4.1.1.21	kg	22,110	44.174,05	976.666.993,26
<b>SubTotal</b>						<b>1.924.251.134,72</b>

Setelah dapat hasil total biaya pasangan struktur rangka beton dan struktur rangka baja, selisih biaya dan waktu dapat dilihat dalam Tabel 4.21 di bawah ini:

**Tabel 4.21.** Selisih Biaya dan Waktu Struktrur Rangka Beton Dan Baja

No	Uraian	Biaya	Waktu (Hari)
1	Struktur Rangka Beton	1.355.572.919,07	435
2	Struktur Rangka Baja	1.924.251.134,72	397
<b>Selisih</b>		<b>568.678.215,65</b>	<b>38</b>

Dari perbedaan tersebut, maka dapat dilihat bahwa pekerjaan struktur rangka dengan material baja lebih mahal dibandingkan pekerjaan struktur rangka dengan menggunakan

material beton, dari segi waktu dapat disimpulkan bahwa baja lebih efisien dibandingkan beton.

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisa perhitungan, maka dapat diambil kesimpulan mengenai biaya dan waktu pekerjaan struktur rangka beton dan struktur rangka baja sebagai berikut:

1. Total biaya keseluruhan pekerjaan struktur rangka beton adalah Rp 1.355.572.919,07 sedangkan biaya keseluruhan pekerjaan pasangan dinding menggunakan struktur rangka baja adalah Rp 1.924.251.134,72.
2. Waktu yang dibutuhkan dalam menyelesaikan pekerjaan struktur rangka beton adalah 436 hari, sedangkan waktu yang dibutuhkan pada pekerjaan struktur rangka baja adalah 397 hari.
3. Setelah dianalisis, maka dapat disimpulkan bahwa pekerjaan baja lebih mahal dibandingkan pekerjaan struktur rangka beton. Adapun perbedaannya yaitu Rp 568.678.215,65 dan untuk perbedaan waktu pekerjaan struktur rangka baja lebih cepat 39 hari daripada pekerjaan struktur rangka beton.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pratama, A. R., & Wijaya, H., “Inovasi Digital dalam Manajemen Konstruksi Modern. Jakarta: Pustaka Teknik Utama,” 2024.
- [2] Sari, M., dkk., “‘Optimalisasi Biaya dan Waktu pada Proyek Gedung Bertingkat dengan Metode Lean Construction’. Jurnal Infrastruktur dan Rekayasa Sipil,” 2023.
- [3] Nugroho, S., “Metode Pelaksanaan Konstruksi: Strategi dan Implementasi di Era Industri 5.0. Bandung: Rekayasa Sains,” 2025.
- [4] Edison H. Manurung, *Manajemen sumber daya manusia*, vol. 1. Penerbit Insania, 2021.
- [5] Hendrawan, B., & Santoso, A., “Teknologi Bahan Konstruksi: Dari Teori ke Aplikasi Lapangan. Bandung: Alfabeta,” 2024.
- [6] Edison H. Manurung, “Manajemen Kualitas,” Penerbit Widina, 2023.
- [7] Pratama, R., “Metalurgi Fisik dan Pengolahan Logam Paduan. Jakarta: Erlangga,” 2025.
- [8] Hidayat, R., “‘Analisis Ketahanan Api Struktur Beton Bertulang pada Bangunan Tinggi’. Jurnal Teknik Sipil Indonesia,” 2023.
- [9] Setiawan, A., “Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI Terbaru. Jakarta: Penerbit Konstruksi Teknik,” 2024.
- [10] Sari, D. N., “‘Penerapan Konsep Daktilitas pada Beton Bertulang’. Jurnal Infrastruktur,” 2023.
- [11] Wahyudi, L. & Prasetyo, B., “Struktur Baja: Teori, Detailing, dan Aplikasi Lapangan. Bandung: Rekayasa Sains,” 2023.
- [12] Putra, E., “‘Inovasi Baja Mutu Tinggi dalam Reduksi Dimensi Struktur Bangunan Bentang Lebar’. Jurnal Teknik Sipil,” 2024.

- [13] Sudarmono, T, “Manajemen Biaya dan Waktu Konstruksi Modern. Yogyakarta: Andi Offset,” 2025.
- [14] Sari, D. N., “Efisiensi Beton Precast pada Proyek Strategis Nasional’. Jurnal Ekonomi Konstruksi,” 2023.
- [15] Wahyudi, L. & Prasetyo, B., “Struktur Baja: Teori, Detailing, dan Aplikasi Lapangan. Bandung: Rekayasa Sains,” 2023.
- [16] Pratama, M., “Analisis Kecepatan Fabrikasi Baja terhadap ROI Proyek Bangunan Industrial’. International Journal of Civil Engineering Research,” 2024.
- [17] Hidayat, R., “Material Dinding pada Rumah Tapak Permanen: Studi Kasus Beton dan Bata’. Jurnal Teknik Sipil Indonesia,” 2023.
- [18] Kusuma, H., “Mekanika Teknik dan Analisis Portal. Surabaya: Pustaka Media,” 2024.
- [19] Widodo., “Analisis Tegangan Regangan: Teori Rangkak pada Beton. Jakarta: Erlangga,” 2023.
- [20] Pratama, M., “Metode Estimasi Biaya Berdasarkan Tahapan Proyek Konstruksi: Studi Kasus Bangunan Industrial”. International Journal of Civil Engineering Research,” 2024.
- [21] Kusuma, H., “Estimasi Biaya Proyek untuk Pemilik dan Kontraktor. Surabaya: Pustaka Media,” 2024.