

ANALISIS PENGGUNAAN BEKISTING PADA PROYEK APARTEMEN A SURABAYA

Aziz Trisna Putra¹, Sitti Safiatus Riskijah², Armin Naibaho³

¹ Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang,

^{2,3} Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang

Email: ¹aziztrisna05@gmail.com, ²sitti.safiatus@polinema.ac.id, ³ar_naibaho@yahoo.co.id

ABSTRAK

Bekisting adalah alat struktural yang digunakan dalam membentuk beton, dan memiliki kemampuan untuk menahan gaya yang terjadi selama proses pengecoran dengan dimensi, konfigurasi, dan penempatan yang diinginkan. Sebagian besar kontraktor yang terlibat dalam proyek *high rise building* menggunakan bekisting semi konvensional / semi sistem dalam pelaksanaannya yang membutuhkan waktu cukup lama. Oleh karena itu, perlu dilakukan inovasi atau alternatif baru penggunaan bekisting yaitu salah satunya adalah menggunakan metode bekisting sistem. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain alternatif bekisting, membandingkan kedua jenis bekisting tersebut melalui analisis perbandingan dari segi kekuatan material, waktu dan biaya pada masing-masing jenis bekisting untuk pekerjaan balok, plat, dan kolom pada lantai 9-27. Data yang dibutuhkan yaitu spesifikasi teknis, gambar kerja, harga satuan upah dan bahan tahun 2022 Kota Surabaya. Metode yang digunakan dalam pelaksanaan bekisting menggunakan sistem zonasi, Perhitungan biaya bekisting mengacu pada HSPK Kota Surabaya Tahun 2022 dan penjadwalan menggunakan software *Microsoft Project 2019*. Dari hasil analisis diperoleh bahwa pada pekerjaan bekisting kolom, balok, plat semi sistem menggunakan bahan *phenolic* dan besi hollow, dengan biaya total sebesar Rp 5.805.712.692,98 serta waktu yang dibutuhkan selama 185 hari, sedangkan pada bekisting sistem menggunakan bahan aluminium dengan perkuatan pipa support, dengan biaya total sebesar Rp 9.733.295.362,99 dan waktu yang dibutuhkan selama 163 hari. Hasil perbandingan bekisting didapatkan dari segi biaya bekisting semi sistem 40,35% lebih murah dari pada bekisting sistem (*Aluminium Formwork*), sedangkan dari segi waktu penggunaan bekisting sistem lebih cepat 22 hari dari pada bekisting semi sistem. Dari hasil analisis direkomendasikan bekisting sistem (*Aluminium Formwork*) untuk digunakan pada Proyek Pembangunan Apartemen A Surabaya.

Kata kunci : Bekisting; Metode; Rencana Anggaran Biaya; Waktu.

ABSTRACT

Formwork is a structural apparatus employed in the shaping of concrete, possessing the ability to endure the forces exerted during the pouring phase, while simultaneously achieving the intended dimensions, configuration, and placement. A substantial proportion of contractors involved in high-rise building projects employ semi-conventional or semi-system formwork during the execution phase, resulting in a notable time investment. Hence, it is imperative to investigate novel innovations or alternative approaches, one of which involves the utilization of the formwork system methodology. The objective of this study is to develop an alternative formwork system by conducting a comparative analysis of two formwork types. The analysis will focus on evaluating their material strength, time efficiency, and cost effectiveness for beam, slab, and column construction activities on floors 9 to 27. The necessary information encompasses technical specifications, working drawings, and unit prices for labor and materials within Surabaya City during the calendar year of 2022. The formwork was implemented utilizing a zonal system, with cost estimation adhering to the Surabaya City Standard Unit Price for the year 2022. Scheduling was conducted employing Microsoft Project 2019 software. Based on the findings of the analysis, it was determined that the utilization of phenolic and hollow steel based semi system formwork for columns, beams, and plates would necessitate a time frame of 185 days and incur a financial expenditure of IDR 5.805.712.692,98. In contrast, the employment of an aluminum with pipe support system formwork with a is projected to necessitate a duration of 163 days and incur a financial expenditure amounting to IDR 9.733.295.362,99. Through a comparative analysis, it was found that the cost of semi-system formwork was 40,35% lower in comparison to system formwork, specifically the Aluminium Formwork. In contrast, the system formwork is a reduction of 22 days compared to the semi-system formwork. Based on the analysis findings, it is recommended to use the system formwork (Aluminium Formwork) for implementation in Project A.

Keywords : Formwork; Method; Cost Estimate; Time

1. PENDAHULUAN

Proyek Pembangunan Apartemen A Surabaya merupakan tempat hunian yang dibangun diatas lahan 1,6 ha yang terdiri dari 8 lantai podium dan tower 52 lantai. Lingkup pekerjaan yang ditinjau pada penelitian ini yaitu pada lantai 9-27. Bekisting atau yang sering disebut cetakan beton adalah suatu media pembantu untuk peretakan beton dengan bentuk, ukuran, maupun posisi yang telah ditentukan. Bekisting terdiri dari beberapa bagian-bagian yang dirangkai menjadi satu kesatuan dengan sistem yang praktis dan mudah dikerjakan.

Dengan berkembangnya teknologi dalam bidang konstruksi salah satu contoh pekerjaan bekisting yang dapat mempengaruhi biaya dan waktu pelaksanaan pekerjaan yaitu metode bekisting sistem yang menggunakan sistem panel. Material utama bekisting menggunakan bahan aluminium yang memiliki karakteristik yang berbeda dengan bekisting konvensional maupun semi konvensional yang bahan dasarnya menggunakan kayu sebagai bahan utamanya, selain itu metode bekisting sistem memiliki keunggulan dari segi waktu membutuhkan waktu yang relatif singkat dimana sebagian komponennya memerlukan sedikit tenaga kerja dalam proses pelaksanaan, serta dari segi penggunaan lebih ramah lingkungan.

Tujuan analisis penggunaan bekisting pada proyek tersebut meliputi:

1. Membuat desain bekisting semi sistem dan sistem (*Aluminium Formwork*)
2. Menyusun metode pelaksanaan pekerjaan bekisting semi sistem dan sistem (*Aluminium Formwork*)
3. Menghitung durasi dan biaya yang dibutuhkan pada pelaksanaan pekerjaan bekisting

2. METODE

Data yang dibutuhkan berupa data sekunder yang meliputi gambar kerja, spesifikasi teknis, dan Harga Satuan Pekerjaan Kota Surabaya Tahun 2022.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam analisis bekisting antara lain:

1. Mengolah data untuk mengidentifikasi jenis pekerjaan kolom, balok, dan plat beserta dimensi.
2. Membuat desain rencana bekisting semi sistem dan sistem (*Aluminium Form Work*).
3. Menyusun metode pelaksanaan pekerjaan bekisting yang meliputi pabrikan, pemasangan, pembongkaran
4. Menentukan waktu pelaksanaan pekerjaan bekisting.
5. Menghitung biaya pekerjaan bekisting.
6. Menghitung efisiensi waktu dan biaya pelaksanaan pekerjaan bekisting semi sistem dan sistem.

7. Menentukan alternatif bekisting yang terbaik.

Perencanaan Bekisting

Dalam merencanakan bekisting dibutuhkan data pembebanan untuk perhitungan kekuatan bekisting yang aman. Menurut Wigbout (1992) dalam Susilo (2019). dalam perencanaan bekisting terdapat beban yang bekerja pada bekisting, yaitu berat jenis beton = 2400 kg/m^3 , beban hidup (beban pekerja, peralatan serta alat angkut beton) = 150 kg/m^2 , beban kejut (akibat pemakaian vibrator maupun concrete pump) = 7,5% dari beban beton. Tahapan perencanaan bekisting meliputi:

1. Perhitungan Tegangan Bekisting

Untuk menghitung besar tegangan yang terjadi digunakan persamaan 1.

$$\sigma_t = \frac{M}{W} \quad (\text{Wigbout, 1992: 142}) \quad (1)$$

Dimana

M = Momen lentur akibat bekisting kotak (kgm)

W = Momen perlawanan (m^3)

σ_t = Tegangan lentur ijin (kg/m^2)

2. Perhitungan Momen Lentur Bekisting

Untuk menghitung momen lentur akibat bekisting kotak digunakan persamaan 2 dan 3.

Besar M pada 2 perletakan bila memikul beban merata

$$M = \frac{1}{8} \cdot q \cdot L^2 \quad (\text{R.Segel, dkk, 1994 : 56}) \quad (2)$$

Besar M apabila memikul beban terpusat

$$M = \frac{1}{4} \cdot p \cdot L \quad (\text{R.Segel, dkk, 1994 : 56}) \quad (3)$$

Dimana

M = Momen lentur akibat bekisting kotak (kgm)

q = Beban terbagi merata (kg/m)

p = Beban terpusat (kg)

L = Panjang bentang (m)

Penentuan nilai momen perlawanan akibat bekisting kotak dihitung menggunakan persamaan 4.

$$W = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 \quad (\text{R.Segel, dkk, 1994: 56}) \quad (4)$$

Dimana

W = Momen perlawanan (m^3)

b = Panjang papan bekisting kotak per meter (m)

h = Tebal papan bekisting kotak (m)

3. Perhitungan Kekakuan (Lendutan)

Untuk mengetahui kekuatan suatu bahan, maka perlu diketahui lendutan yang terjadi dapat dihitung dalam persamaan 5 sampai 8.

Untuk perletakan di atas 2 tumpuan

$$\delta = \frac{5}{384} \times \frac{qL^4}{EI} \quad (5)$$

Untuk perletakan di atas 3 tumpuan atau lebih

$$\delta = \frac{1}{128} \times \frac{qL^4}{EI} \quad (6)$$

Untuk perletakan beban terpusat

$$\delta = \frac{p}{48} \times \frac{L^3}{EI} \quad (7)$$

Untuk perletakan kantilever

$$\delta = \frac{1}{8} \times \frac{qL^4}{EI} \quad (8)$$

Dimana

δ = Lendutan yang terjadi (m)

q = Beban total dari bekisting kontak tiap meter (kg/m)

L = Rencana jarak tumpuan (m)

E = Modulus elastisitas (kg/m²)

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

Menurut PKKI, 1961;17 dalam Pribadi (2022) untuk menghasilkan struktur yang lebih kaku, lendutan yang terjadi tidak boleh lebih dari δ yang diijinkan. Berikut lendutan ijin yang secara umum digunakan:

$$\delta_{\max} \leq \frac{1}{300}L: \text{ untuk balok yang dipergunakan pada konstruksi yang terlindung.}$$

$$\delta_{\max} \leq \frac{1}{400}L: \text{ untuk balok yang dipergunakan pada konstruksi yang tidak terlindung.}$$

$$\delta_{\max} \leq \frac{1}{200}L: \text{ untuk balok yang dipergunakan pada konstruksi kuda-kuda, seperti gording, kasau.}$$

$$\delta_{\max} \leq \frac{1}{240}L: \text{ untuk konstruksi baja balok biasa (SNI 03-1729-2002)}$$

Perhitungan Durasi Pelaksanaan Bekisting

Menurut Ervianto (2004) dalam Tanjung (2017) dengan memanfaatkan daftar pekerjaan pada WBS, akan dapat diperkirakan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan setiap pekerjaan tersebut. Perkiraan bisa dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa hal, antara lain ketersediaan sumber daya dan kompleksitas. Selanjutnya dilakukan penjabaran dalam kalender (*flow time*). Penentuan jumlah tenaga kerja, dapat dihitung dengan persamaan 9.

$$\text{Kebutuhan Tenaga Kerja} = ((\text{Koefisien Tenaga Kerja} \times \text{Volume})/(\text{Durasi Rencana})) \quad (9)$$

Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya (RAB) merupakan perkiraan atau estimasi nilai uang dari suatu kegiatan yang berhubungan dengan pelaksanaan pembangunan proyek konstruksi, yang didalamnya telah memperhitungkan kuantitas berdasarkan gambar bestek serta rencana kerja, daftar harga bahan, daftar upah, daftar susunan rencana

anggaran biaya. Biaya pekerjaan dapat dihitung menggunakan persamaan 10.

$$\text{Biaya Pekerjaan} = \text{volume pekerjaan} \times \text{analisa harga satuan pekerjaan.} \quad (10)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

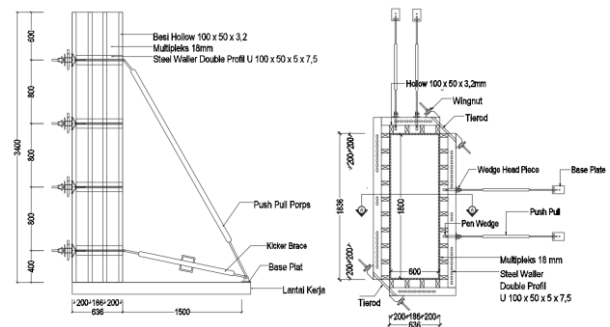
Rencana Desain Bekisting Kolom

Dalam hal ini jenis bekisting yang ditinjau yaitu bekisting semi sistem yang dapat dilihat pada Gambar 1, dan bekisting sistem yang dapat dilihat pada Gambar 2.

Rencana Desain Bekisting Kolom Semi Sistem

Desain bekisting kolom semi sistem dapat dilakukan dengan tahapan berikut:

1. Merencanakan desain bekisting kolom berdasarkan material yang digunakan, analisa kekuatan bekisting kolom semi sistem dilakukan menggunakan kolom jenis K2 dengan dimensi 600 x 1800mm, seperti ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Rencana Desain Bekisting Kolom Semi Sistem

2. Analisis kekuatan bekisting semi sistem

Data umum:

Beban tekan beton	= 5098,58 kg/m ²
Berat jenis kayu kelas II	= 640 kg/m ³
σ ijin BJ-37	= 1.600 kg/cm ²
E kayu kelas II	= 100.000 kg/cm ²

Analisa kekuatan terhadap multiplek 18mm:

Kondisi Multiplek 18 mm

$$\text{Momen Inersia (Ix)} = 48,60 \text{ cm}^4$$

$$\text{Momen lawan (Wx)} = 54,00 \text{ cm}^3$$

Direncanakan jarak (L) antar besi hollow 200 mm.

Cek σ dengan L rencana

$$\text{Kontrol } \sigma = \sigma \text{ terjadi} \leq \sigma \text{ ijin kayu} \\ = 91,35 \text{ kg/cm}^2 \leq 108,8 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}$$

Cek lendutan L rencana

$$\delta \text{ ijin} = 0,05 \text{ cm}$$

$$\delta \text{ terjadi} = 0,042 \text{ cm (menggunakan persamaan 5)}$$

$$\text{kontrol } \delta = \delta \text{ terjadi} \leq \delta \text{ ijin} \\ = 0,042 \text{ cm} \leq 0,050 \text{ cm (Aman)}$$

Analisa kekuatan dinding bekisting kolom terhadap besi hollow 100 x 50 x 3,2 mm

Kondisi besi hollow 100 x 50 x 3,2 mm

Momen Inersia (Ix) = 112 cm⁴ (Tabel Baja)

Momen lawan (Wx) = 22,5 cm³ (Tabel Baja)

- Tinjauan W1 dan W2 jarak 400 mm (sabuk kolom)

$$\text{Kontrol } \sigma = \sigma \text{ terjadi} \leq \sigma \text{ ijin baja} \\ = 682,48 \text{ kg/cm}^2 \leq 1600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}$$

Cek lendutan L rencana

$$\delta \text{ ijin} = 0,167 \text{ cm}$$

$$\delta \text{ terjadi} = 0,026 \text{ cm (menggunakan persamaan 8)}$$

$$\text{kontrol } \delta = \delta \text{ terjadi} \leq \delta \text{ ijin} \\ = 0,026 \leq 0,167 \text{ cm (Aman)}$$

- Tinjauan W2 dan W3 jarak 800 mm (sabuk kolom)

$$\text{Kontrol } \sigma = \sigma \text{ terjadi} \leq \sigma \text{ ijin baja} \\ = 1108,98 \text{ kg/cm}^2 \leq 1600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}$$

Cek lendutan L rencana

$$\delta \text{ ijin} = 0,33 \text{ cm}$$

$$\delta \text{ terjadi} = 0,07 \text{ cm (menggunakan persamaan 5)}$$

$$\text{kontrol } \delta = \delta \text{ terjadi} \leq \delta \text{ ijin} \\ = 0,07 \leq 0,33 \text{ cm (Aman)}$$

- Tinjauan W3 dan W4 jarak 800 mm (sabuk kolom)

$$\text{Kontrol } \sigma = \sigma \text{ terjadi} \leq \sigma \text{ ijin baja} \\ = 767,64 \text{ kg/cm}^2 \leq 1600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}$$

Cek lendutan L rencana

$$\delta \text{ ijin} = 0,33 \text{ cm}$$

$$\delta \text{ terjadi} = 0,05 \text{ cm (menggunakan persamaan 5)}$$

$$\text{kontrol } \delta = \delta \text{ terjadi} \leq \delta \text{ ijin} \\ = 0,05 \leq 0,33 \text{ cm (Aman)}$$

- Tinjauan W4 dan W5 jarak 800 mm (sabuk kolom)

$$\text{Kontrol } \sigma = \sigma \text{ terjadi} \leq \sigma \text{ ijin baja} \\ = 426,31 \text{ kg/cm}^2 \leq 1600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}$$

Cek lendutan L rencana

$$\delta \text{ ijin} = 0,33 \text{ cm}$$

$$\delta \text{ terjadi} = 0,03 \text{ cm (menggunakan persamaan 5)}$$

$$\text{kontrol } \delta = \delta \text{ terjadi} \leq \delta \text{ ijin} \\ = 0,03 \text{ cm} \leq 0,33 \text{ cm (Aman)}$$

- Tinjauan W5 dan W6 jarak 600 mm (sabuk kolom)

$$\text{Kontrol } \sigma = \sigma \text{ terjadi} \leq \sigma \text{ ijin baja} \\ = 216 \text{ kg/cm}^2 \leq 1600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}$$

Cek lendutan L rencana

$$\delta \text{ ijin} = 0,25 \text{ cm}$$

$$\delta \text{ terjadi} = 0,07 \text{ cm (menggunakan persamaan 8)}$$

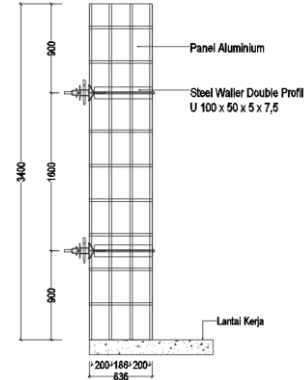
$$\text{kontrol } \delta = \delta \text{ terjadi} \leq \delta \text{ ijin} \\ = 0,07 \text{ cm} \leq 0,25 \text{ cm (Aman)}$$

Desain bekisting kolom semi sistem seperti pada Gambar 1 dinyatakan aman dan dapat menahan beban dengan jarak bentang antar sabuk bekisting 40 cm, 80cm, 80cm, 80cm, dan 60cm.

Rencana Desain Bekisting Kolom Sistem

Desain bekisting kolom sistem (*Aluminium Formwork*) dapat dilakukan dengan tahapan berikut:

1. Merencanakan desain bekisting kolom berdasarkan material yang digunakan, analisa kekuatan bekisting kolom semi sistem dilakukan menggunakan kolom jenis K2 dengan dimensi 600 x 1800mm, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rencana Desain Bekisting Kolom Sistem

2. Analisa kekuatan bekisting

Data umum:

Beban tekan beton	= 5098,58 kg/m ²
Dimensi panel	= 600 x 2450 mm σ ijin
BJ-37	= 1.600 kg/cm ²
E baja	= 2,1 x 10 ⁶ kg/cm ²

Analisa kekuatan terhadap Panel Aluminium:

Momen Inersia (Ix)	= 2133,73 cm ⁴
Momen lawan (Wx)	= 672,04 cm ³

- Tinjauan W1 dan W2 jarak 900 mm (sabuk kolom)

$$\text{Kontrol } \sigma = \sigma \text{ terjadi} \leq \sigma \text{ ijin baja} \\ = 47,39 \text{ kg/cm}^2 \leq 1600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}$$

Cek lendutan L rencana

$$\delta \text{ ijin} = 0,375 \text{ cm}$$

$$\delta \text{ terjadi} = 0,073 \text{ cm (menggunakan persamaan 8)}$$

$$\text{kontrol } \delta = \delta \text{ terjadi} \leq \delta \text{ ijin} \\ = 0,073 \text{ cm} \leq 0,375 \text{ cm (Aman)}$$

- Tinjauan W2 dan W3 jarak 1600 mm (sabuk kolom)

$$\text{Kontrol } \sigma = \sigma \text{ terjadi} \leq \sigma \text{ ijin baja} \\ = 194,22 \text{ kg/cm}^2 \leq 1600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}$$

Cek lendutan L rencana

$$\delta \text{ ijin} = 0,667 \text{ cm}$$

$$\delta \text{ terjadi} = 0,078 \text{ cm (menggunakan persamaan 5)}$$

$$\text{kontrol } \delta = \delta \text{ terjadi} \leq \delta \text{ ijin} \\ = 0,078 \text{ cm} \leq 0,667 \text{ cm (Aman)}$$

- Tinjauan W3 dan W4 jarak 900 mm (sabuk kolom)

$$\text{Kontrol } \sigma = \sigma \text{ terjadi} \leq \sigma \text{ ijin baja}$$

$$=36,60 \text{ kg/cm}^2 \leq 1600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}$$

Cek lendutan L rencana

$$\delta \text{ ijin} = 0,375 \text{ cm}$$

$$\delta \text{ terjadi} = 0,040 \text{ cm (menggunakan persamaan 8)}$$

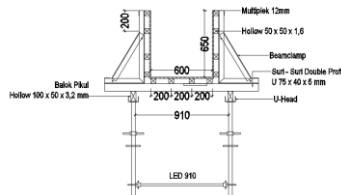
$$\text{kontrol } \delta = \delta \text{ terjadi} \leq \delta \text{ ijin} \\ = 0,040 \text{ cm} \leq 0,375 \text{ cm} \text{ (Aman)}$$

Desain bekisting kolom metode sistem dinyatakan aman dan dapat menahan beban dengan jarak bentang antar sabuk bekisting 90 cm, 160cm, dan 90cm.

Rencana Desain Bekisting Balok Semi Sistem

Desain bekisting balok semi sistem dapat dilakukan dengan tahapan berikut:

1. Merencanakan desain bekisting balok ditinjau dari material yang digunakan, dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Rencana desain balok semi sistem

Analisa kekuatan bekisting balok menggunakan tipe balok T1B1A dengan dimensi 600 mm x 650 mm.

Analisa kekuatan bekisting:

Data umum

- Berat jenis beton = 2400 kg/m³
- Berat tulangan = 421,87 kg
- σ ijin BJ-37 = 1.600 kg/cm²
- E baja = 2,1 x 10⁶ kg/cm²
- beban kerja = 150 kg/cm²

Analisa kekuatan terhadap multilek 12 mm (tembereng balok)

Kondisi Multilek 12 mm

$$\text{Momen Inersia (Ix)} = 14,40 \text{ cm}^4$$

$$\text{Momen lawan (Wx)} = 24,00 \text{ cm}^3$$

Direncanakan jarak (L) antar besi hollow 250 mm.

Cek σ dengan L rencana

$$\text{Kontrol } \sigma = \sigma \text{ terjadi} \leq \sigma \text{ ijin kayu} \\ = 54,59 \text{ kg/cm}^2 \leq 108,8 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}$$

Cek lendutan L rencana

$$\delta \text{ ijin} = 0,063 \text{ cm}$$

$$\delta \text{ terjadi} = 0,05 \text{ cm (menggunakan persamaan 5)}$$

$$\text{kontrol } \delta = \delta \text{ terjadi} \leq \delta \text{ ijin} \\ = 0,05 \text{ cm} \leq 0,063 \text{ cm (Aman)}$$

Analisa kekuatan terhadap besi hollow 50 x 50 x 1,6 mm (tembereng balok):

Kondisi besi hollow 50 x 50 x 1,6 mm

$$\text{Momen Inersia (Ix)} = 11,70 \text{ (tabel baja)}$$

$$\text{Momen lawan (Wx)} = 4,68 \text{ (tabel baja)}$$

Direncanakan jarak (L) antar beam clamp 500 mm.

Cek σ dengan L rencana

$$\text{Kontrol } \sigma = \sigma \text{ terjadi} \leq \sigma \text{ ijin baja} \\ = 203,45 \text{ kg/cm}^2 \leq 1600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}$$

Cek lendutan L rencana

$$\delta \text{ ijin} = 0,208 \text{ cm}$$

$$\delta \text{ terjadi} = 0,010 \text{ cm (menggunakan persamaan 5)}$$

$$\text{kontrol } \delta = \delta \text{ terjadi} \leq \delta \text{ ijin} \\ = 0,010 \text{ cm} \leq 0,208 \text{ cm (Aman)}$$

Analisa kekuatan terhadap multilek 12 mm (bodeman balok)

Kondisi Multilek 12 mm:

$$\text{Momen Inersia (Ix)} = 14,40 \text{ cm}^4$$

$$\text{Momen lawan (Wx)} = 24,00 \text{ cm}^3$$

Direncanakan jarak (L) antar besi hollow 200 mm.

Cek σ dengan L rencana:

$$\text{Kontrol } \sigma = \sigma \text{ terjadi} \leq \sigma \text{ ijin kayu} \\ = 47,01 \text{ kg/cm}^2 \leq 108,8 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}$$

Cek lendutan L rencana:

$$\delta \text{ ijin} = 0,050 \text{ cm}$$

$$\delta \text{ terjadi} = 0,033 \text{ cm (menggunakan persamaan 5)}$$

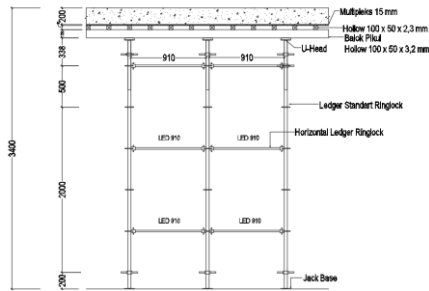
$$\text{kontrol } \delta = \delta \text{ terjadi} \leq \delta \text{ ijin} \\ = 0,033 \text{ cm} \leq 0,050 \text{ cm (Aman)}$$

Desain bekisting balok metode semi sistem dinyatakan aman dan dapat menahan beban dengan jarak antar besi hollow sebesar 20 cm.

Rencana Desain Bekisting Plat Lantai Semi Sistem

Desain bekisting plat lantai semi sistem dapat dilakukan dengan tahapan berikut:

1. Merencanakan desain bekisting plat lantai ditinjau dari material yang digunakan, analisa kekuatan bekisting plat lantai dilakukan menggunakan jenis plat lantai S2 dengan tebal plat 200mm, yang dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Rencana desain plat lantai semi sistem

2. Analisa kekuatan bekisting

Data umum

- Berat jenis beton = 2400 kg/m³
- Berat tulangan = 1233,84 kg
- σ ijin BJ-37 = 1.600 kg/cm²
- E baja = 2,1 x 10⁶ kg/cm²
- beban kerja = 150 kg/cm²

Analisa kekuatan terhadap multiplek 15 mm

Kondisi Multiplek 15 mm

- Momen Inersia (Ix) = 28,13 cm⁴
- Momen lawan (Wx) = 37,50 cm³
- Direncanakan jarak (L) antar besi hollow 250 mm.
- Cek σ dengan L rencana

$$\text{Kontrol } \sigma = \sigma \text{ terjadi } \leq \sigma \text{ ijin kayu} \\ = 39,74 \text{ kg/cm}^2 \leq 108,8 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}$$

Cek lendutan L rencana

$$\delta \text{ ijin} = 0,063 \text{ cm} \\ \delta \text{ terjadi} = 0,034 \text{ cm (menggunakan persamaan 5)} \\ \text{kontrol } \delta = \delta \text{ terjadi } \leq \delta \text{ ijin} \\ = 0,034 \text{ cm} \leq 0,063 \text{ cm (Aman)}$$

Analisa kekuatan besi hollow 100 x 50 x 2,3 mm

Kondisi besi hollow 100 x 50 x 2,3 mm

- Momen Inersia (Ix) = 84,40 (tabel baja)
- Momen lawan (Wx) = 17,00 (tabel baja)
- Direncanakan jarak (L) antar balok pikul 910 mm.
- Cek σ dengan L rencana

$$\text{Kontrol } \sigma = \sigma \text{ terjadi } \leq \sigma \text{ ijin baja} \\ = 857,25 \text{ kg/cm}^2 \leq 1600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}$$

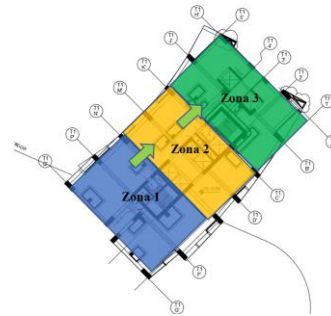
Cek lendutan L rencana

$$\delta \text{ ijin} = 0,379 \text{ cm} \\ \delta \text{ terjadi} = 0,071 \text{ cm (menggunakan persamaan 5)} \\ \text{kontrol } \delta = \delta \text{ terjadi } \leq \delta \text{ ijin} \\ = 0,071 \text{ cm} \leq 0,379 \text{ cm (Aman)}$$

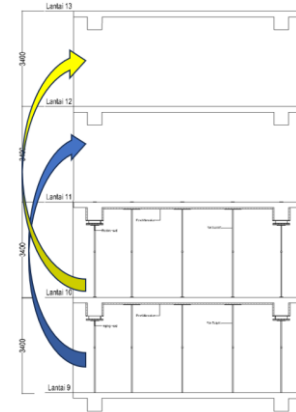
Desain bekisting plat lantai metode semi sistem dinyatakan aman dan dapat menahan beban dengan jarak antar besi hollow sebesar 25 cm.

Strategi Pelaksanaan

Strategi pekerjaan bekisting dilakukan dengan cara membagi dalam 3 zona, seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Pembagian Zona Pekerjaan Bekisting

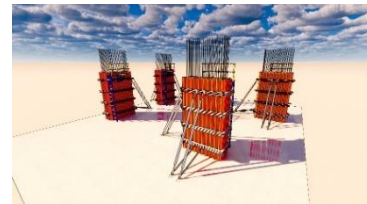


Gambar 6. Siklus Pemasangan Bekisting Balok dan Plat Sistem

Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan disusun sebagai pedoman dalam pekerjaan bekisting kolom, balok, dan plat.

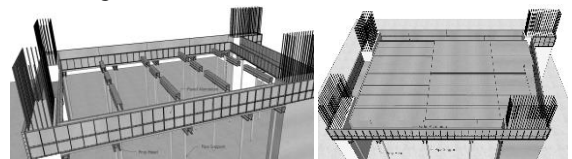
1. bekisting kolom



Gambar 7. Visualisasi Bekisting Kolom Semi Sistem

Urutan pelaksanaan pekerjaan bekisting kolom yaitu pabrikasi bekisting, pemasangan bekisting, pengecoran, dan pembongkaran.

2. Bekisting Balok dan Plat Lantai



Gambar 8. Visualisasi Bekisting Balok sistem dan Plat Sistem

Urutan pelaksanaan pekerjaan bekisting balok dan plat lantai yaitu pabrikasi bekisting, pemasangan bekisting, pengecoran, dan pembongkaran.

Perhitungan Durasi dan Rencana Anggaran Biaya

Durasi yang digunakan pada pelaksanaan pekerjaan bekisting menggunakan durasi yang direncanakan, sehingga perhitungan kebutuhan tenaga kerja dapat diperoleh dari koefisien tenaga kerja dikalikan dengan volume pekerjaan sehingga didapat jumlah tenaga kerja per hari, selanjutnya dibagi dengan durasi yang telah direncanakan., didapatkan contoh hasil penjadwalan bekisting semi sistem dapat dilihat pada Tabel 1 dan rekap durasi pekerjaan bekisting dapat dilihat pada Tabel 2.

Perhitungan RAB (Rencana Anggaran Biaya) dapat dilakukan setelah menyelesaikan perhitungan volume dan perhitungan analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP). Hasil perhitungan biaya bekisting dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 1. Penjadwalan Bekisting Semi Sistem

No	Uraian Pek Bekisting	Hari ke-								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Lantai 9									
1.1	Kolom Zona 1									
	Kolom Zona 2									
	Kolom Zona 3									
2	Lantai 10									
2.1	Balok Zona 1									
	Balok Zona 2									
	Balok Zona 3									
2.2	Plat Zona 1									
	Plat Zona 2									
	Plat Zona 3									
2.3	Kolom Zona 1									
	Kolom Zona 2									
	Kolom Zona 3									

Tabel 2. Total Durasi Bekisting Semi Sistem dan Sistem

No	Uraian	Durasi (hari)	
		Bekisting semi sistem	Bekisting sistem
1	Lantai 9	10	8
2	Lantai 10	23	17
3	Lantai 11	23	17
4	Lantai 12	23	17
5	Lantai 13	23	17
6	Lantai 14	23	17
7	Lantai 15	23	17
8	Lantai 16	23	17
9	Lantai 17	23	17
10	Lantai 18	23	17
11	Lantai 19	23	17
12	Lantai 20	23	17
13	Lantai 21	23	17
14	Lantai 22	23	17
15	Lantai 23	23	17
16	Lantai 24	23	17
17	Lantai 25	23	17
18	Lantai 26	23	17
19	Lantai 27	23	17

Tabel 3. Total Biaya Bekisting Semi Sistem dan Sistem

No	Uraian	Jumlah Biaya	
		Bekisting Semi Sistem	Bekisting Sistem
1	Lantai 9	Rp 85.712.338,21	Rp 290.230.068,37

2	Lantai 10	Rp 275.164.911,55	Rp 467.868.967,00
3	Lantai 11	Rp 275.164.911,55	Rp 467.868.967,00
4	Lantai 12	Rp 275.164.911,55	Rp 467.868.967,00
5	Lantai 13	Rp 275.164.911,55	Rp 467.868.967,00
6	Lantai 14	Rp 275.164.911,55	Rp 467.868.967,00
7	Lantai 15	Rp 275.164.911,55	Rp 467.868.967,00
8	Lantai 16	Rp 275.164.911,55	Rp 467.868.967,00
9	Lantai 17	Rp 275.164.911,55	Rp 467.868.967,00
10	Lantai 18	Rp 275.164.911,55	Rp 467.868.967,00
11	Lantai 19	Rp 275.164.911,55	Rp 467.868.967,00
12	Lantai 20	Rp 275.164.911,55	Rp 467.868.967,00
13	Lantai 21	Rp 326.071.449,05	Rp 604.447.822,70
14	Lantai 22	Rp 275.164.911,55	Rp 467.868.967,00
15	Lantai 23	Rp 275.164.911,55	Rp 467.868.967,00
16	Lantai 24	Rp 275.164.911,55	Rp 467.868.967,00
17	Lantai 25	Rp 275.164.911,55	Rp 467.868.967,00
18	Lantai 26	Rp 275.164.911,55	Rp 467.868.967,00
19	Lantai 27	Rp 275.164.911,55	Rp 467.868.967,00
Total Biaya		Rp 5.277.920.629,98	Rp 8.848.450.329,99
PPN 10%		Rp 527.792.063,00	Rp 884.845.033,00
Total Biaya Keseluruhan		Rp 5.805.712.692,98	Rp 9.733.295.362,99

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis penggunaan bekisting pada Proyek Apartemen A Surabaya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil desain bekisting semi sistem untuk pekerjaan bekisting kolom menggunakan bahan multiplek jenis *phenolic* 18mm, besi hollow 100 x 50 x 3,2mm, sabuk kolom menggunakan steel waller double profil U sebanyak 4 buah dengan jarak 40 cm, 80 cm, 80 cm, 80 cm, 60 cm, untuk bekisting balok menggunakan bahan multiplek jenis *phenolic* 12mm, besi hollow 50 x 50 x 1,6mm, dan bekisting plat lantai menggunakan bahan multiplek jenis *phenolic* 15mm, besi hollow 100 x 50 x 2,3 mm, perancah yang digunakan pada perkuatan bekisting balok dan plat lantai yaitu perancah jenis PCH (*Perth Construction Hire*) yang dapat menahan beban maksimum sebesar 3426,25 kg setiap tiang support.
2. Hasil desain bekisting sistem (*Aluminium Form Work*) untuk kolom menggunakan bahan aluminium yang berbentuk panel dengan ukuran setiap panel sebesar 600 x 2450 mm, sabuk kolom menggunakan steel waller double profil U sebanyak 2 buah dengan jarak antar sabuk kolom 1,6 m, balok dan plat lantai menggunakan bahan aluminium dengan tebal 63,5 mm, dengan perkuatan menggunakan pipa support dengan jarak antar pipa support 2m.
3. Metode pelaksanaan pada pekerjaan bekisting semi sistem dan sistem (*Aluminium Form Work*) menggunakan 3 zona untuk setiap lantainya serta metode yang digunakan yakni *bottom up*. Pada bekisting semi sistem pelaksanaan dimulai dari pekerjaan bekisting kolom, dilanjutkan dengan bekisting balok dan plat lantai. Pekerjaan bekisting kolom dimulai dari pabrikasi bekisting, kemudian pemasangan sesuai dengan posisi dan marking area yang telah ditentukan, pengecekan verticality guna mengecek ketegakan kolom sebelum pengecoran, pembongkaran bekisting kolom dilakukan setelah umur beton ± 12 jam, sedangkan pada bekisting balok

dan plat lantai dimulai dengan pemasangan perancah PCH kemudian pemasangan bekisting pada balok dan plat, dilanjutkan dengan pembesian, kemudian pengecoran, pembongkaran bekisting dapat dilakukan setelah umur beton mencapai 14 hari.

4. Hasil penjadwalan menggunakan software *Microsoft Project* 2019 diperoleh total durasi pelaksanaan bekisting semi sistem selama 185 hari, sedangkan total durasi pelaksanaan bekisting sistem dikerjakan dalam waktu 163.
5. Hasil analisis biaya yang dibutuhkan untuk pelaksanaan bekisting semi sistem sebesar Rp 5.805.712.692,98 sedangkan besar biaya pada pelaksanaan bekisting sistem (*Aluminium Form Work*) sebesar Rp 9.733.295.362,99
6. Dari hasil analisis perbandingan penggunaan bekisting semi sistem dengan bekisting sistem (*Aluminium Form Work*) dari segi waktu pelaksanaan yang dibutuhkan bekisting sistem (*Aluminium Form Work*) lebih cepat 22 hari dari bekisting semi sistem, sedangkan dari segi biaya yang dibutuhkan bekisting semi sistem lebih murah Rp 3.927.582.670,02 dari bekisting sistem (*Aluminium Form Work*).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ACI, 2004. ACI 347-04: Guide to Formwork for Concrete, American Concrete Institute. Farmington Hills, Michigan. Kuntjoro.
- [2] Ervianto, W.I, (2004) "Teori Aplikasi Manajemen Proyek Konstruksi" Penerbit Andi, Yogyakarta dalam Tanjung, L. S. (2017). Evaluasi Perencanaan Dan Pengendalian Proyek Dengan Menggunakan Metode Lean Project Management (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau).
- [3] F Wigbout Ing, 1992, Buku Pedoman Tentang Bekisting (Kotak Cetak), Erlangga, Jakarta.
- [3] Harga Satuan Pokok Kegiatan (2022) Kota Surabaya
- [4] Pribadi, F. A., & Khamim, M. (2022). Perencanaan Bekisting Dan Perancah Pada Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Malang. *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi (JOS-MRK)*, 3(1), 210-215.x
- [5] Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia, PKKI 1961, Penerbit Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung
- [6] Permen PUPR RI Nomor 1 Tahun 2022 tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- [7] Segel. R, Kole, P, Gideon H.Kusuma, (1993). Pedoman Pengerjaan Beton. Jakarta: Penerbit Erlangga
- [8] Susilo, E. (2019). Analisis Biaya Bekisting Dan Bekisting Konvensional dan Bekisting Semi Sistem Pada Kolom Bangunan Gedung, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta