

OPTIMASI BEKISTING PADA PROYEK PEMBANGUNAN RUSUNAWA BERBASIS DESAIN PROTOTYPE T-24 PETAHUNAN DENGAN MENGUNAKAN METODE SIMPLEKS

Cintri Anjani Rahmada Putri*

Program Studi Teknologi Konstruksi Bangunan Gedung, Politeknik Astra, Cibatu, Cikarang Selatan, Bekasi, 17530,
Indonesia

E-mail: cintri.putri@polytechnic.astra.ac.id*

Abstract -- The construction project of Rusunawa (Low-Cost Flats) in Petahunan, Pasuruan City consists of two buildings Each building consists of 5 floors with an area of 1152 m² per building. The project uses a reinforced concrete structure with a field-fabricated precast system, utilizing class II wooden formwork. Given the limited construction budget, optimization is required, including formwork optimization and design innovation by using steel formwork. This study aims to optimize the steel plate formwork and determine the maximum number of formworks that can be produced, considering the existing constraints, and optimize the number of formworks using linear programming. The analysis results show that the steel formwork is made using steel plates with a thickness of 5 mm, strip plates measuring 19 mm x 50 mm, and angle plates measuring 50 x 50 x 6. The service life of the steel formwork is longer compared to wooden formwork. The cost of wooden formwork based on the initial RAB calculation before optimization is IDR 92,502,040, while the cost of the alternative steel formwork before optimization is IDR 237,380,819. After optimization, the cost of wooden formwork, multiplied by the number of formwork replacements, is IDR 342,153,654, whereas the cost of steel formwork after optimization, multiplied by the number of formwork replacements, is IDR 163,149,015.

Keywords: Optimization, Precast concrete, Wooden formwork, Steel formwork

Abstrak -- Proyek Pembangunan Rusunawa Petahunan Kota Pasuruan terdiri dari dua gedung masing-masing 5 lantai dengan luas 1152 m² per gedung. Proyek tersebut menggunakan struktur beton bertulang sistem pra-cetak fabrikasi lapangan dengan menggunakan bekisting kayu kelas II. Dengan dana pembangunan yang terbatas maka diperlukan suatu optimasi diantaranya adalah optimasi bekisting dan juga diperlukan suatu inovasi desain yaitu menggunakan bekisting baja. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan bekisting pelat baja dan menentukan jumlah maksimal bekisting yang dapat diproduksi dengan memperhatikan kendala yang ada dan optimasi jumlah bekisting menggunakan program linier. Hasil analisis diperoleh pembuatan bekisting baja menggunakan pelat baja dengan tebal pelat 5mm, plat strip 19 mm x 50 mm, dan plat siku 50 x 50 x 6. Umur penggunaan bekisting baja lebih lama dibandingkan dengan penggunaan bekisting kayu. Biaya yang dibutuhkan dari bekisting kayu berdasarkan perhitungan RAB sebelum dioptimasi sebesar Rp. 92,502,040 dan biaya yang dibutuhkan dari alternatif bekisting baja sebelum dioptimasi sebesar Rp. 237,380,819. Biaya bekisting kayu setelah dioptimasi dan dikalikan dengan jumlah pergantian bekisting sebesar Rp. 342.153.654, sedangkan biaya bekisting baja setelah dioptimasi dan dikalikan dengan jumlah pergantian bekisting sebesar Rp. 163.149.015.

Kata Kunci: optimasi, beton pra-cetak, bekisting kayu, bekisting baja

I. PENDAHULUAN

Secara umum pelaksanaan bangunan sipil dimulai dengan tahapan struktur yang merupakan tahapan terpenting karena menjadi penentu agar bangunan dapat bertahan sesuai dengan umur rencana dalam menerima beban baik dari beban sendiri dan atau dari beban luar[1]. Dalam pelaksanaan pekerjaan suatu proyek dibutuhkan suatu metode agar pelaksanaan dapat berjalan sesuai target waktu, mutu dan biaya[1]. Perencanaan bekisting merupakan bagian penting dalam pelaksanaan struktur beton bertulang[3]

Menurut[4] biaya bekisting, yang dapat berkisar dari sepertiga hingga dua pertiga dari total biaya untuk struktur beton tersebut, sering lebih tinggi daripada

biaya beton maupun baja tulangnya. Untuk struktur beton biasa, bekisting ini dianggap menghabiskan 50% dari total biaya[1]. Upaya apapun yang dilakukan untuk meningkatkan keekonomisan struktur beton haruslah terpusat pada pengurangan biaya bekisting. Oleh karena itu, seorang perencana atau *engineer* harus memiliki alternatif metode pelaksanaan maupun desain agar dana yang tersedia dapat digunakan secara optimum.

Hal ini dapat dilakukan dengan meninjau kembali desain sehingga memungkinkan untuk melakukan penghematan biaya dengan cara mengidentifikasi dan mereduksi biaya-biaya yang tidak perlu tanpa mengurangi tingkat mutu, keandalan, serta fungsi proyek itu sendiri[6].

Optimasi yang bertujuan untuk mengefisienkan dana pembangunan, dalam dunia konstruksi umumnya dilakukan melalui *value engineering*, inovasi, dan akselerasi konstruksi [7]. Pada perencanaan sebuah bekisting hal yang perlu ditekankan adalah pembuatan sebuah bekisting ekonomis yang meliputi biaya kerja dan biaya peralatan yang diperlukan pada suatu perencanaan bekisting tertentu. Untuk mencapai keserasian secara ekonomis sebuah bekisting (biaya kerja dan alat) maka kita perlu mengadakan perbandingan antara biaya yang diperlukan untuk metode bekisting yang berbeda-beda bagi sebuah objek tertentu[8].

Obyek yang diambil untuk optimasi bekisting ini adalah Proyek Pembangunan Rusunawa Petahunan Kota Pasuruan yang terdiri dari 2 (dua) gedung masing-masing 5 lantai dengan menggunakan sistem pra-cetak fabrikasi lapangan dan bernilai sebesar Rp. 31.318.851.000,00 (sudah termasuk PPN 10%). Dalam penelitian ini mengkaji alternatif penggunaan bekisting dengan menggunakan pelat baja yang bertujuan untuk mengetahui metode atau jumlah alternatif bekisting yang paling optimum pada proyek tersebut.

Tinjauan terhadap penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem beton pracetak berpotensi meningkatkan efisiensi konstruksi, baik dari segi biaya maupun waktu pelaksanaan. Penelitian Redesain Struktur Gedung Rusunawa T-24 Parakan Di Temanggung[6] membahas penerapan desain prototipe T-24 pada bangunan rusunawa untuk meningkatkan ketahanan struktur[3]. Penelitian Desain Gedung Rusunawa dengan Metode *Precast* menggarisbawahi keunggulan metode *precast* dalam percepatan pembangunan gedung rusunawa. Sementara itu, Rahman Maulana di dalam Analisis Perbandingan Penggunaan Bekisting Konvensional Dan Semi Konvensional Dari Aspek Mutu, Waktu Dan Biaya[1] memperlihatkan bahwa pemilihan metode bekisting yang tepat sangat berpengaruh terhadap mutu akhir dan kecepatan pelaksanaan proyek. Dengan demikian, optimalisasi desain bekisting pracetak berbasis prototipe T-24 merupakan pendekatan yang relevan dan strategis untuk mencapai efisiensi pada proyek pembangunan Rusunawa Petahunan.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian dan pengembangan, yang bisa juga disebut metode *Research and Development* (R&D). Menurut Sujadi (2003:16) Penelitian dan Pengembangan adalah suatu proses atau langkah-langkah untuk mengembangkan

suatu produk baru, atau menyempurnakan produk yang telah ada dan dapat dipertanggung jawabkan. Tahapan dalam penelitian ini yaitu:

1. Tahap Informasi: merupakan tahap awal yang bertujuan untuk mengumpulkan data-data yang berhubungan dengan item-item pekerjaan yang akan dianalisis, untuk memperoleh item kerja yang akan dilakukan optimasi ini dengan cara mendefinisikan fungsi item dalam proyek. Dalam tahap ini juga ditampilkan besar biaya yang dikeluarkan dalam melakukan item pekerjaan tersebut.
2. Tahap Kreatif: Dalam tahap ini dilakukan pencarian berbagai alternatif yang digunakan untuk mengganti sistem dari item pekerjaan yang sudah direncanakan. Alternatif - alternatif tersebut dapat dilakukan pada bahan atau material, desain, maupun metode pelaksanaan pada item pekerjaan yang akan dilakukan optimasi.
3. Tahap Analisa bertujuan untuk melakukan evaluasi, pembenahan dan analisa biaya terhadap ide yang dihasilkan dan untuk mendata alternatif yang layak serta potensi untuk menghasilkan penghematan. Pada tahap ini, dihitung nilai atau biaya dari item pekerjaan tersebut dengan alternatif-alternatif yang direncanakan. Dalam menghitung biaya, dapat mengkaji dari segi bahan atau material, tenaga kerja, waktu, dan dimensi dari item pekerjaan tersebut. Tahap analisa ini meliputi menggambar desain alternatif bekisting, mengidentifikasi metode pelaksanaan pekerjaan bekisting, dan menghitung anggaran biaya terhadap alternatif yang dilakukan pada pekerjaan bekisting.

Setelah melakukan analisis data, maka diperoleh hasil analisa. Hasil analisa tersebut dilakukan dalam beberapa tahap yaitu dilakukan penyelesaian masalah dengan metode simpleks sehingga diperoleh jumlah maksimal bekisting yang dapat diproduksi sehingga dapat memaksimalkan biaya (Z). Langkah-langkah dalam penyelesaian masalah secara simpleks[10] adalah:

- a. Menentukan fungsi tujuan dan fungsi kendala.
- b. Mengubah fungsi tujuan dan fungsi kendala ke bentuk standar Simpleks.
- c. Membuat tabel simpleks awal
- d. Melakukan iterasi sampai tidak ada nilai baris Z yang negatif.

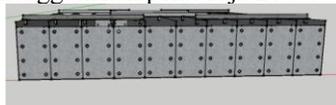
Setelah metode simpleks dilakukan, maka dapat memberikan rekomendasi terhadap alternatif yang telah dianalisa sebelumnya. Dalam hal ini dapat dijelaskan mengenai metode atau rencana awal, alternatif yang direkomendasikan, dan besarnya anggaran biaya.

III. HASIL DAN PERANCANGAN

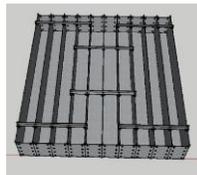
Sistem struktur pracetak adalah sistem struktur rangka terbuka (*open frame*) yang memiliki keunikan pada lokasi penyambungan komponen balok dan kolom pada join balok kolom. Sistem ini dapat digunakan untuk bangunan bertingkat rendah hingga bangunan bertingkat menengah. Cetakan atau *moulding* komponen ini menggunakan pelat baja BJ37. Bekisting pelat baja ini dapat dipakai berulang-ulang. Besar pengulangan ini akan berdampak pada biaya produksi, dimana semakin rendah tingkat pengulangan, biaya produksi juga semakin rendah. Cetakan komponen tersebut merupakan rangkaian yang dapat dipasang dan dibuka dengan mudah. Sebelum dan sesudah pencetakan, *moulding* harus diolesi minyak bekisting secara merata.

a. Desain Alternatif Kolom

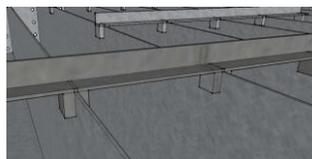
Berikut adalah desain alternatif bekisting kolom menggunakan pelat baja BJ37.



Gambar 1. Tampak Depan 3D Desain Alternatif Kolom



Gambar 2. Tampak Atas 3D Desain Alternatif Kolom



Gambar 3. Detail Penguat Bekisting Kolom

b. Desain Alternatif Balok

Berikut adalah desain alternatif bekisting balok menggunakan pelat baja BJ37.



Gambar 4. Tampak Depan Desain Alternatif Balok



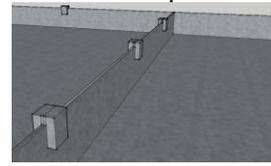
Gambar 5. Tampak Atas Desain Alternatif Balok

c. Desain Alternatif Pelat

Berikut adalah desain alternatif bekisting pelat menggunakan pelat baja BJ37.



Gambar 6. Tampak Atas 3D Desain Alternatif Pelat



Gambar 7. Detail Penguat Tengah Bekisting Pelat



Gambar 8. Detail Penguat Samping Bekisting Pelat

d. Optimasi Biaya pada Pekerjaan Bekisting Kayu

Optimasi biaya pada pekerjaan bekisting ini menggunakan program linier yang mempunyai dua macam fungsi yaitu fungsi tujuan dan fungsi kendala (pembatas)[6]. Dari fungsi-fungsi tersebut kemudian dicari jumlah maksimal bekisting yang dapat dibuat dengan menggunakan model pemrograman linier metode simpleks.

Menurut [11] penyelesaian masalah pada suatu sistem yang terstruktur dapat dilakukan dengan salah satu “teknik perencanaan untuk penelitian operasional”, misalnya dengan menggunakan *linier programming*, dimana merupakan suatu model umum yang dapat digunakan dalam pemecahan masalah dengan menggunakan metode simpleks dan pengalokasian sumber-sumber terbatas secara optimal. Metode simpleks merupakan suatu prosedur aljabar iteratif (yang dilakukan secara berulang) yang dimulai dari suatu penyelesaian layak basis awal ke penyelesaian layak basis lainnya sampai diperoleh penyelesaian optimal.

1. Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan dalam optimasi biaya pekerjaan bekisting kayu ini adalah memaksimalkan jumlah bekisting yang dapat diproduksi. Harga bekisting dihitung dalam rupiah per meter persegi dan sudah meliputi penyediaan material dan upah tenaga kerja untuk pekerjaan bekisting pre-cast. Harga pada kontrak tersebut yaitu Rp. 173.489/m² untuk pekerjaan bekisting kayu pada kolom, sedangkan ukuran satu unit bekisting kolom 3,61 m², maka untuk harga satu unitnya yaitu Rp. 625.948/unit, untuk pekerjaan bekisting kayu pada balok sebesar Rp. 152.680/m², sedangkan ukuran satu unit bekisting balok 7,23 m², maka untuk harga satu unitnya yaitu Rp. 1.104.563/unit, untuk pekerjaan bekisting kayu pada pelat sebesar Rp. 167.885/m², sedangkan ukuran satu unit bekisting pelat 12,24 m², maka untuk harga satu unitnya yaitu Rp. 2.054.107/unit. Maka, fungsi tujuan memaksimalkan biaya bekisting kayu dapat dinyatakan seperti pada rumus[6]:

$$Z \text{ maksimum} = C_1 X_1 + C_2 X_2 + C_3 X_3$$

(1)

$$Z \text{ maksimum} = 625.948 X_1 + 1.104.563 X_2 + 2.054.107 X_3$$

dimana : Z = biaya pembuatan bekisting C_1 = biaya pembuatan bekisting kolom per unit = Rp. 625.948 C_2 = biaya pembuatan bekisting balok per unit = Rp. 1.104.563 C_3 = biaya pembuatan bekisting pelat per unit = Rp. 2.054.107 X_1 = jumlah bekisting kolom yang dibuat (unit) X_2 = jumlah bekisting balok yang dibuat (unit) X_3 = jumlah bekisting pelat yang dibuat (unit).

2. Fungsi Kendala Sumberdaya Pada Pekerjaan Bekisting Kayu

Fungsi-fungsi kendala tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut :

- Fungsi Kendala Ketersediaan Biaya

Jumlah ketersediaan biaya pembuatan bekisting kayu yang meliputi biaya material dan upah pekerja berdasarkan nilai kontrak adalah sebesar Rp. 92.502.040 (tanpa PPN dan overhead). Berdasarkan biaya bekisting untuk masing-masing jenis seperti dalam penjelasan fungsi tujuan. Maka, formulasi fungsi kendala untuk ketersediaan biaya seperti pada rumus: $a_{11} X_1 + a_{12} X_2 + a_{13} X_3 \leq b_1$

(2)

$$625.948 X_1 + 1.104.563 X_2 + 2.054.107 X_3 \leq 92.502.040$$

- Fungsi Kendala Ketersediaan Tenaga Kerja

Jumlah tenaga kerja yang digunakan pada masing-masing pekerjaan bekisting berbeda. Untuk pembuatan 20 unit bekisting kolom dan 20 unit bekisting balok masing-masing membutuhkan waktu 6 hari kerja, sehingga dalam satu hari bekisting yang dihasilkan yaitu 3,3 unit. Tenaga kerja untuk pekerjaan bekisting kolom yang digunakan yaitu 5 orang/hari. Maka tenaga kerja untuk per unit bekisting kolom dan balok masing-masing yaitu berjumlah 1,51 orang dan tenaga kerja maksimum yang digunakan yaitu 30,3 orang. Sedangkan untuk pembuatan 15 unit bekisting pelat membutuhkan waktu 6 hari, sehingga dalam satu hari bekisting yang dihasilkan yaitu 2,5 unit. Tenaga kerja untuk pekerjaan bekisting pelat yang digunakan yaitu 5 orang/hari. Maka tenaga kerja untuk per unit bekisting pelat yaitu berjumlah 2 orang dan tenaga kerja maksimum yang digunakan yaitu 30 orang. Maka, total jumlah tenaga kerja yang tersedia yaitu 90,6 orang/hari

Sehingga formulasi fungsi kendala untuk tenaga kerja seperti pada rumus:

$$a_{21} X_1 + a_{22} X_2 + a_{23} X_3 \leq b_2$$

(3)

$$1,51 X_1 + 1,51 X_2 + 2,00 X_3 \leq 90,6$$

- Fungsi Kendala Penggunaan Biaya Material

Fungsi kendala penggunaan material ini dihitung dengan cara mengetahui jenis material yang digunakan dan biaya yang dikeluarkan untuk penyediaan material pada pembuatan bekisting tersebut. Harga pada kontrak tersebut untuk material pekerjaan bekisting kayu pada kolom yaitu Rp 86.369/m², sedangkan satu unit bekisting kolom 3,61 m², maka untuk harga material satu unitnya yaitu Rp. 311.620/unit, untuk harga material pekerjaan bekisting kayu pada balok yaitu Rp 65.561/m², sedangkan satu unit bekisting balok 7,23 m², maka untuk harga material satu unitnya yaitu Rp. 474.299/unit dan Rp 80.765/m² untuk material pekerjaan bekisting kayu pada pelat, sedangkan satu unit bekisting pelat 12,24 m², maka untuk harga material satu unitnya yaitu Rp. 988.181/unit. Berdasarkan data dari RAB proyek, dana yang dialokasikan untuk material dalam pembuatan bekisting kayu sebesar Rp 43.070.568. Maka, persamaan fungsi kendala penggunaan biaya material bekisting seperti pada rumus:

$$a_{31} X_1 + a_{32} X_2 + a_{33} X_3 \leq b_3$$

(4)

$$311.620 X_1 + 474.299 X_2 + 988.181 X_3 \leq 43.070.568$$

- Fungsi Kendala Jumlah Produksi Komponen

Pembuatan jumlah bekisting ini dipengaruhi oleh jumlah produksi komponen tiap harinya. Berdasarkan pengamatan di lapangan untuk kolom diproduksi paling sedikit 10 unit dan paling banyak 20 unit tiap harinya, balok diproduksi paling sedikit 10 unit dan paling banyak 20 unit tiap harinya, dan pelat paling sedikit 4 unit dan paling banyak 15 unit tiap harinya. Sehingga formulasi kendala jumlah produksi komponen seperti pada rumus 4.5 sampai rumus:

$$10 X_1 \leq 20 \leq X_2 \leq 20 \leq 4 \leq X_3 \leq 15$$

(5)

- Fungsi Kendala Luas Area Pembuatan Komponen

Luas area pembuatan komponen atau casting area ini mempengaruhi jumlah pembuatan bekisting di lapangan. Luas area yang disediakan untuk pembuatan bekisting kolom yaitu 6 m . 14 m = 84 m². Luas area yang disediakan untuk pembuatan bekisting balok yaitu 6 m . 20 m = 120 m², dan Luas area yang disediakan untuk pembuatan bekisting pelat yaitu 6 m . 34 m = 204 m². Total luas casting area seluruhnya yaitu 408 m². Untuk pembuatan satu unit bekisting kolom diperlukan luas alas sebesar (3,28+0,04)m . (0,3+0,04)m = 1,13 m², untuk pembuatan satu unit bekisting balok diperlukan luas alas sebesar (6,89+0,04)m . (0,25+0,04)m = 2,01 m², dan untuk pembuatan satu unit bekisting pelat diperlukan luas alas sebesar (2,23+0,04)m . (5,85+0,04)m = 13,37 m²

. Sehingga formulasi kendala jumlah produksi komponen seperti pada rumus:

$$a_{10_1} X_1 + a_{10_2} X_2 + a_{10_3} X_3 \leq b_{10}$$

(6)

$$1,13 X_1 + 2,01 X_2 + 13,37 X_3 \leq 408$$

- Fungsi Kendala Jam Kerja Atau Durasi

Jam kerja pekerja ini mempengaruhi jumlah pembuatan bekisting tiap harinya. Jam kerja normal dalam sehari yaitu 8jam kerja. Berdasarkan pengamatan dan wawancara di lapangan, untuk pembuatan 20 unit bekisting kolom dan 20 unit bekisting balok masing-masing membutuhkan waktu 6 hari kerja, sehingga dalam satu hari bekisting yang dihasilkan yaitu 3,3 unit, maka dengan delapan jam kerja, satu unitnya membutuhkan waktu 2,4 jam. Sedangkan untuk pembuatan 15 unit bekisting pelat membutuhkan waktu 6 hari, sehingga dalam satu hari bekisting yang dihasilkan yaitu 2,5 unit, maka dengan delapan jam kerja, satu unitnya membutuhkan waktu 3,2 jam. Namun, waktu pembuatan bekisting tersebut dibagi lima, karena maksimal pemakaian untuk bekisting kayu yaitu lima kali pakai. Sehingga formulasi kendala jumlah produksi komponen seperti pada rumus (4) sampai (6):

$$a_{11_1} X_1 + a_{11_2} X_2 + a_{11_3} X_3 \leq b_{11}$$

$$0,48 X_1 + 0,00 X_2 + 0,00 X_3 \leq 8$$

$$a_{12_1} X_1 + a_{12_2} X_2 + a_{12_3} X_3 \leq b_{12}$$

$$0,00 X_1 + 0,48 X_2 + 0,00 X_3 \leq 8$$

$$a_{13_1} X_1 + a_{13_2} X_2 + a_{13_3} X_3 \leq b_{13}$$

$$0,00 X_1 + 0,00 X_2 + 0,64 X_3 \leq 8$$

e. Optimasi Biaya pada Pekerjaan Bekisting Baja

Optimasi biaya pada pekerjaan bekisting ini menggunakan program linier yang mempunyai dua macam fungsi yaitu fungsi tujuan dan fungsi kendala (pembatas). Dari fungsi-fungsi tersebut kemudian dicari jumlah maksimal bekisting yang dapat dibuat dengan menggunakan model pemrograman linier metode simpleks.

1. Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan dalam optimasi biaya pekerjaan bekisting baja ini adalah memaksimalkan jumlah bekisting yang dapat diproduksi. Berdasarkan perhitungan AHSP bekisting baja, diperoleh harga yaitu Rp. 357.757/m² untuk pekerjaan bekisting baja pada kolom, sedangkan ukuran satu unit bekisting kolom 3,61 m², maka untuk harga satu unitnya yaitu Rp. 1.290.787/unit. Perhitungan AHSP pekerjaan bekisting baja pada balok yaitu Rp. 285.185/m², sedangkan ukuran satu unit bekisting balok 7,23 m², maka untuk harga satu unitnya yaitu Rp. 2.063.171/unit. Perhitungan AHSP pekerjaan bekisting baja pada pelat yaitu Rp. 545.945 /m², sedangkan ukuran satu unit bekisting pelat 12,234 m², maka untuk harga satu unitnya yaitu Rp.

6.679.746/unit. Oleh karena itu, fungsi tujuan memaksimalkan biaya bekisting baja dapat dinyatakan seperti pada rumus:

$$Z \text{ maksimum} = C_1 X_1 + C_2 X_2 + C_3 X_3$$

$$Z \text{ maksimum} = 1.290.787 X_1 + 2.063.171 X_2 + 6.679.746 X_3$$

dimana : Z = biaya pembuatan bekisting
 C_1 = biaya pembuatan bekisting kolom = Rp. 1.290.787
 C_2 = biaya pembuatan bekisting balok = Rp. 2.063.171
 C_3 = biaya pembuatan bekisting pelat = Rp. 6.679.746
 X_1 = jumlah bekisting kolom yang dibuat (unit)
 X_2 = jumlah bekisting balok yang dibuat (unit)
 X_3 = jumlah bekisting pelat yang dibuat (unit).

2. Fungsi Kendala Sumberdaya Pada Pekerjaan Bekisting Baja

Fungsi-fungsi kendala tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut:

- Fungsi Kendala Ketersediaan Biaya

Jumlah ketersediaan biaya pembuatan bekisting baja yang meliputi biaya material dan upah pekerja berdasarkan AHSP yang dibuat adalah sebesar Rp. 238.347.145 (tanpa PPN dan overhead). Berdasarkan biaya bekisting untuk masing-masing jenis, maka formulasi fungsi kendala untuk ketersediaan biaya seperti pada rumus:

$$a_{1_1} X_1 + a_{1_2} X_2 + a_{1_3} X_3 \leq b_1$$

$$1.290.787 X_1 + 2.063.171 X_2 + 6.679.746 X_3 \leq 238.347.145$$

- Fungsi Kendala Ketersediaan Tenaga Kerja

Jumlah tenaga kerja yang digunakan pada masing-masing pekerjaan bekisting berbeda. Untuk pembuatan 20 unit bekisting kolom dan 20 unit bekisting balok masing-masing membutuhkan waktu 6 hari kerja, sehingga dalam satu hari bekisting yang dihasilkan yaitu 3,3 unit. Tenaga kerja untuk pekerjaan bekisting kolom yang digunakan yaitu 5 orang/hari. Maka tenaga kerja untuk per unit bekisting kolom dan balok masing-masing yaitu berjumlah 1,51 orang dan tenaga kerja maksimum yang digunakan yaitu 30,3 orang. Sedangkan untuk pembuatan 15 unit bekisting pelat membutuhkan waktu 6 hari, sehingga dalam satu hari bekisting yang dihasilkan yaitu 2,5 unit. Tenaga kerja untuk pekerjaan bekisting pelat yang digunakan yaitu 5 orang/hari. Maka tenaga kerja untuk per unit bekisting pelat yaitu berjumlah 2 orang dan tenaga kerja maksimum yang digunakan yaitu 30 orang. Maka, total jumlah tenaga kerja yang tersedia yaitu 90,6 orang/hari. Sehingga formulasi fungsi kendala untuk tenaga kerja seperti pada rumus:

$$a_{2_1} X_1 + a_{2_2} X_2 + a_{2_3} X_3 \leq b_2$$

$$1,51 X_1 + 1,51 X_2 + 2,00 X_3 \leq 90,6$$

- Fungsi Kendala Penggunaan Biaya Material

Fungsi kendala penggunaan material ini dihitung dengan cara mengetahui jenis material yang digunakan

dan biaya yang dikeluarkan untuk penyediaan material pada pembuatan bekisting tersebut. Harga pada AHSP yang dibuat tersebut untuk material pekerjaan bekisting baja pada kolom yaitu Rp 354.116/m², sedangkan satu unit bekisting kolom 3,61 m², maka untuk harga material satu unitnya yaitu Rp. 1.277.649/unit, untuk harga material pekerjaan bekisting baja pada balok yaitu Rp 282.316/m², sedangkan satu unit bekisting balok 7,23 m², maka untuk harga material satu unitnya yaitu Rp. 2.042.412/unit dan untuk harga material pekerjaan bekisting baja pada pelat yaitu Rp 540.447/m², sedangkan satu unit bekisting pelat 12,24 m², maka untuk harga material satu unitnya yaitu Rp. 6.612.474/unit. Berdasarkan perhitungan dari analisa harga satuan bekisting baja, dana yang dialokasikan untuk material dalam pembuatan bekisting baja sebesar Rp. 235.944.043. Maka, persamaan fungsi kendala penggunaan biaya material bekisting baja seperti pada rumus:

$$a_{31} X_1 + a_{32} X_2 + a_{33} X_3 \leq b_3$$

$$1.277.649 X_1 + 2.042.412 X_2 + 6.612.474 X_3 \leq 235.944.043$$

- Fungsi Kendala Jumlah Produksi Komponen

Pembuatan jumlah bekisting ini dipengaruhi oleh jumlah produksi komponen tiap harinya. Berdasarkan pengamatan di lapangan untuk kolom diproduksi paling sedikit 10 unit dan paling banyak 20 unit tiap harinya, balok diproduksi paling sedikit 10 unit dan paling banyak 20 unit tiap harinya, dan pelat paling sedikit 4 unit dan paling banyak 15 unit tiap harinya. Sehingga formulasi kendala jumlah produksi komponen seperti pada rumus 4.19 sampai rumus:

$$10 \leq X_1 \leq 20$$

$$10 \leq X_2 \leq 20$$

$$4 \leq X_3 \leq 15$$

- Fungsi Kendala Luas Area Pembuatan Komponen

Luas area pembuatan komponen atau casting area ini mempengaruhi jumlah pembuatan bekisting di lapangan. Luas area yang disediakan untuk pembuatan bekisting kolom yaitu 6 m . 14 m = 84 m². Luas area yang disediakan untuk pembuatan bekisting balok yaitu 6 m . 20 m = 120 m², dan Luas area yang disediakan untuk pembuatan bekisting pelat yaitu 6 m . 34 m = 204 m². Total luas casting area seluruhnya yaitu 408 m². Untuk pembuatan satu unit bekisting kolom diperlukan luas alas sebesar (3,28+0,01)m . (0,3+0,01)m = 1,02 m², untuk pembuatan satu unit bekisting balok diperlukan luas alas sebesar (6,89+0,01)m . (0,25+0,01)m = 1,794 m², dan untuk pembuatan satu unit bekisting pelat diperlukan luas alas sebesar (2,23+0,01)m . (5,85+0,01)m = 13,13 m². Sehingga formulasi kendala jumlah produksi komponen seperti pada rumus:

$$a_{101} X_1 + a_{102} X_2 + a_{103} X_3 \leq b_{10}$$

$$1,02 X_1 + 1,794 X_2 + 13,13 X_3 \leq 408$$

- Fungsi Kendala Jam Kerja Atau Durasi

Jam kerja pekerja ini mempengaruhi jumlah pembuatan bekisting tiap harinya. Jam kerja normal dalam sehari yaitu delapan jam kerja. Berdasarkan perhitungan penentuan durasi untuk bekisting baja dengan koefisien dan jumlah pekerja yang telah diketahui, maka pembuatan bekisting baja untuk kolom membutuhkan waktu 0,09 jam, pembuatan bekisting baja untuk balok membutuhkan waktu 0,14 jam. Sedangkan untuk pembuatan bekisting baja untuk pelat membutuhkan waktu 0,45 jam. Sehingga formulasi kendala jumlah produksi komponen yaitu:

$$a_{111} X_1 + a_{112} X_2 + a_{113} X_3 \leq b_{11}$$

$$0,09 X_1 + 0,00 X_2 + 0,00 X_3 \leq 8$$

$$a_{121} X_1 + a_{122} X_2 + a_{123} X_3 \leq b_{12}$$

$$0,00 X_1 + 0,14 X_2 + 0,00 X_3 \leq 8$$

$$a_{131} X_1 + a_{132} X_2 + a_{133} X_3 \leq b_{13}$$

$$0,00 X_1 + 0,00 X_2 + 0,45 X_3 \leq 8$$

f. Hasil Optimasi Pemrograman Linier

Berdasarkan faktor-faktor kendala yang telah dijabarkan di atas, kemudian dilakukan perhitungan optimasi. Hasil optimasinya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Hasil Optimasi Pekerjaan Bekisting dengan Biaya Sesuai RAB dan

PERBANDINGAN	BEKISTING KAYU	BEKISTING BAJA
Biaya awal sebelum dioptimasi (Rp)	92.502.040	238.347.145
KOLOM		
Biaya kolom per unit (Rp)	625.948	1.290.787
Jumlah kolom setelah dioptimasi (unit)	17	20
Total biaya kolom setelah dioptimasi (Rp)	10.641.121	25.815.745
BALOK		
Biaya balok per unit (Rp)	1.104.563	2.063.171
Jumlah balok setelah dioptimasi (unit)	17	18
Total biaya balok setelah dioptimasi (Rp)	18.777.579	37.137.076
PELAT		
Biaya pelat per unit (Rp)	2.054.107	6.679.746
Jumlah pelat setelah dioptimasi (unit)	13	15
Total biaya pelat setelah dioptimasi (Rp)	26.703.385	100.196.194
total biaya bekisting setelah dioptimasi (Rp)	56.122.085	163.149.015
Jumlah pemakaian ulang	Maks. 5 kali	Maks. 100 kali

Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa biaya pembuatan bekisting baja pada awalnya lebih mahal yaitu Rp 238.347.145 daripada biaya pembuatan bekisting kayu yaitu Rp 92.502.040, namun jumlah pemakaian pada bekisting kayu maksimal 5 kali pakai, sedangkan jumlah pemakaian bekisting baja maksimal 100 kali

pakai dengan syarat bentuk dan dimensi komponen sama. Hasil optimasi diperoleh jumlah bekisting kayu yaitu berjumlah 17 unit untuk kolom, 17 unit untuk balok, dan 13 unit untuk pelat dengan biaya pembuatan bekisting maksimal sebesar Rp 56.122.085. Dan jumlah bekisting baja optimum yang dapat dibuat yaitu berjumlah 20 unit untuk kolom, 18 unit untuk balok, dan 15 unit untuk pelat dengan biaya pembuatan bekisting maksimal Rp 163.149.015.

Tabel 2. Perbandingan Biaya Bekisting Kayu Dan Bekisting Pelat Baja

PERBANDINGAN	BEKISTING KAYU	BEKISTING BAJA
biaya setelah dioptimasi (Rp)	56.122.085	163.149.015
KOLOM		
Biaya bekisting kolom (Rp)	10.641.121	25.815.745
Jumlah bekisting kolom (X.1)	17	20
Jumlah komponen kolom (buah)	346	346
Jumlah pengecoran pada bekisting	20	17
Jumlah pergantian bekisting kolom (kali)	4	0
Biaya tiap pemakaian bekisting kolom (Rp)	42.564.485	25.815.745
BALOK		
Biaya bekisting balok (Rp)	18.777.579	37.137.076
Jumlah bekisting balok (X.2)	17	18
Jumlah komponen balok (buah)	516	516
Jumlah pengecoran pada bekisting	30	29
Jumlah pergantian bekisting balok (kali)	6	0
Biaya tiap pemakaian bekisting balok (Rp)	112.665.473	37.137.076
PELAT		
Biaya bekisting pelat (Rp)	26.703.385	100.196.194
Jumlah bekisting pelat (X.3)	13	15
Jumlah komponen pelat (buah)	479	479
Jumlah pengecoran pada bekisting	37	32
Jumlah pergantian bekisting pelat (kali)	7	0
Biaya tiap pemakaian bekisting pelat (Rp)	186.923.696	100.196.194
Biaya tiap pemakaian bekisting (Rp)	342.153.654	163.149.015

Berdasarkan tabel 2, diketahui bahwa jumlah bekisting kayu untuk kolom yaitu 17 unit sedangkan jumlah komponen kolom yang harus dibuat sebanyak 346 buah, maka dibutuhkan 20 kali pengecoran pada bekisting. Karena bekisting kayu dapat digunakan maksimal 5 kali pemakaian maka dibutuhkan 4 kali pergantian bekisting. Oleh karena itu, biaya pemakaian bekisting kayu dalam proyek tersebut

sebesar Rp. 42.564.485. Jumlah bekisting baja untuk kolom yaitu 20 unit sedangkan jumlah komponen kolom yang harus dibuat sebanyak 346 buah, maka dibutuhkan 17 kali pengecoran pada bekisting. Karena bekisting baja dapat digunakan maksimal 100 kali pemakaian maka tidak dibutuhkan pergantian bekisting. Oleh karena itu, biaya pemakaian bekisting baja dalam proyek tersebut sebesar Rp. 25.815.745.

Jumlah bekisting kayu untuk balok yaitu 17 unit sedangkan jumlah komponen balok yang harus dibuat sebanyak 516 buah, maka dibutuhkan 30 kali pengecoran pada bekisting. Karena bekisting kayu dapat digunakan maksimal 5 kali pemakaian maka dibutuhkan 6 kali pergantian bekisting. Oleh karena itu, biaya pemakaian bekisting kayu dalam dalam proyek tersebut Rp. 112.665.473. Jumlah bekisting baja untuk balok yaitu 18 unit sedangkan jumlah komponen kolom yang harus dibuat sebanyak 516 buah, maka dibutuhkan 29 kali pengecoran pada bekisting. Karena bekisting baja dapat digunakan maksimal 100 kali pemakaian maka tidak dibutuhkan pergantian bekisting. Oleh karena itu, biaya pemakaian bekisting baja dalam proyek tersebut sebesar Rp. 37.137.076.

Jumlah bekisting kayu untuk pelat yaitu 13 buah sedangkan jumlah komponen pelat yang harus dibuat sebanyak 479 buah, maka dibutuhkan 37 kali pengecoran pada bekisting. Karena bekisting kayu dapat digunakan maksimal 5 kali pemakaian maka dibutuhkan 7 kali pergantian bekisting. Oleh karena itu, biaya tiap pemakaian bekisting kayu dalam proyek tersebut sebesar Rp. 186.923.696. Jumlah bekisting baja untuk pelat yaitu 15 unit sedangkan jumlah komponen kolom yang harus dibuat sebanyak 479 buah, maka dibutuhkan 32 kali pengecoran pada bekisting. Karena bekisting baja dapat digunakan maksimal 100 kali pemakaian maka tidak dibutuhkan pergantian bekisting. Oleh karena itu, biaya pemakaian bekisting baja dalam proyek tersebut sebesar Rp. 100.196.194.

Sehingga, biaya pemakaian bekisting kayu secara keseluruhan dalam proyek tersebut sebesar Rp. 342.153.654 dan biaya pemakaian bekisting baja secara keseluruhan dalam proyek tersebut sebesar Rp. 163.149.015.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Biaya yang dibutuhkan dari alternatif bekisting pelat baja berdasarkan perhitungan RAB sebesar Rp 238.347.145. Biaya awal untuk pembuatan bekisting baja relatif lebih mahal daripada biaya pembuatan bekisting kayu berdasarkan RAB sebesar Rp 92.502.040. Namun, dalam pemakaian ulangnya, bekisting baja lebih banyak jumlah pemakaian

ulangannya hingga 100 kali pakai sedangkan bekisting kayu hanya 5 kali pakai.

Hasil dari analisa yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa saran yaitu, dalam melakukan optimasi, sebaiknya kendala-kendala yang ada dijabarkan dan didefinisikan se jelas-jelasnya agar kendala tersebut dapat dimodelkan dengan tepat sehingga hasil optimasi lebih akurat. Untuk proyek selanjutnya dan pembangunan rusunawa yang berkelanjutan dapat menggunakan alternatif bekisting baja karena dapat dipakai berkali-kali sehingga tidak perlu membuat bekisting baru lagi dengan syarat tipe dan ukuran komponen yang dibuat sama. Apabila ukuran dan dimensi komponen tipikal, serta terdapat banyak proyek yang menggunakan ukuran dan dimensi komponen yang sama, maka bekisting baja lebih ekonomis. Namun apabila hanya satu proyek yang dikerjakan dan dimensi komponen tidak tipikal maka bekisting kayu lebih disarankan karena biaya awal pembuatan bekisting baja lebih mahal daripada bekisting kayu.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Guspari, O., Mafriyal, Hidayati, R., Mirani, Z., & Wike Amelia, P. (2022). Analisis Perbandingan Biaya Pekerjaan Bekisting Konvensional dan Bekisting Sistem Pada Bangunan Gedung (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Laboratorium Terpadu IAIN Bukittinggi). *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 19(1). <http://ejournal2.pnp.ac.id/index.php/jirs/TerakreditasiSINTAPeringkat5>
- [2] Rahman Maulana, H., Irawan, D., & Cakrawala, M. (2024a). Analisis Perbandingan Penggunaan Bekisting Konvensional Dan Semi Konvensional Dari Aspek Mutu, Waktu Dan Biaya. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Lingkungan*, 4(1).
- [3] Purnomo, M., Mardani, D. T., & Sukoco, B. D. (2019). Desain Gedung Rusunawa dengan Metode Precast. *Prosiding Civil Engineering and Enviromental Symposium*.
- [4] Maulana, B. F., Abadiyah, S., & Safitri, R. A. (2024). Analisa Perbandingan Bekisting Semi Sistem (Knockdown) dengan Bekisting Konvensional Berdasarkan RAB. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Lingkungan*, 4, 147–156.
- [5] Adiyatma, I., & Citra, Z. (2024). Analisis Biaya Proyek dengan Sistem Konvensional dan Precast pada Percepatan Pembangunan Konstruksi Rusun. *JURNAL DUNIA REKAYASA SIPIL, DESIGN DAN INFRASTRUKTUR*, 8–12.
- [6] Sutriyanda, D., & Mujahid, S. (2017). Redesain Struktur Gedung Rusunawa T-24 Parakan Di Temanggung. *JURNAL KARYA TEKNIK SIPIL*, 6(1), 238–245. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkts>
- [7] Sucipto, B. (2009). *Optimasi Infrastruktur : Value Engineering, Inovasi, Dan Akselerasi Konstruksi, Untuk Efisiensi Investasi*. Jakarta : Save-i.com bekerja sama dengan Bee Media Indonesia.
- [8] Yazid, Permadina, F. A., & Adriati, F. (2019). Analisa Perbandingan Metode Bekisting Berdasarkan Jumlah Tenaga Kerja. *Spirit of Civil Engineering (SPRING) Journal*, 01, 36–40. www.strong-indonesia.com.
- [9] Azizah, A., Rani, Ulum, K., Roni, F., & Reptiningsih, E. (2023). Analisis Penerapan Metode Simpleks Linier Programming Pada Home Industry Martabak. *Journal of Trends Economics and Accounting Research*, 4(2), 388–395. <https://doi.org/10.47065/jtear.v4i2.1059>
- [10] Saryoko, A. (2016). Metode Simpleks Dalam Optimalisasi Hasil Produksi. *Informatics For Educators And Professionals*, 1(1), 27–36.
- [11] Herman, Merry Monica. 1999. Optimasi Pekerjaan Bekisting Beton Bertulang Pada Pembangunan Gedung Fakultas Pertanian IPB Wing 1 – Wing 11 Di Hutama-Kajima JO (Paket A1). Skripsi tidak dipublikasikan.