

## OPTIMASI KEBUTUHAN TENAGA KERJA PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG X DENGAN METODE *DYNAMIC PROGRAMMING*

Satria Akbar Gumelar<sup>1</sup>, Sitti Safiatu Riskijah<sup>2</sup>, Suselo Utoyo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang, <sup>3</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang

<sup>1</sup>satriaakbarg@gmail.com, <sup>2</sup>ririssafiatu@gmail.com, <sup>3</sup>sslutoyo@gmail.com

### ABSTRAK

Kebutuhan tenaga kerja pada Proyek Pembangunan Gedung X Sidoarjo dengan tinggi 3 lantai dan luas bangunan  $\pm 2.592 \text{ m}^2$  mengalami fluktuasi. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa perencanaan kebutuhan *team work* tenaga kerja bekisting pada pekerjaan struktur beton menggunakan metode optimasi *Dynamic Programming* sehingga dapat meminimalkan biaya alokasi kebutuhan *team work* tenaga kerja bekisting. Data yang dibutuhkan adalah volume pekerjaan bekisting, AHSP Bidang PU 2016 pada Permen PUPR No. 28 Tahun 2016, *master schedule* proyek, HSD Sidoarjo 2019. Kebutuhan tenaga kerja dihitung berdasarkan komposisi tenaga kerja persatuan pekerjaan (*team work*). Hasil dari perhitungan jumlah alokasi kebutuhan *team work* tenaga kerja bekisting adalah 324 *team work*. Jumlah kebutuhan *team work* tenaga kerja bekisting optimal sama dengan jumlah *team work* tenaga kerja minimum yaitu 324 *team work*. Biaya alokasi kebutuhan *team work* tenaga kerja bekisting total sebelum optimasi adalah Rp 929,313,383.22 sedangkan biaya alokasi kebutuhan *team work* tenaga kerja bekisting total setelah optimasi adalah Rp 330,524,416.61. Sehingga efisiensi biaya *team work* tenaga kerja yang dihitung berdasarkan metode *Dynamic Programming* sebesar Rp 598,788,966.61 sudah termasuk *overhead* dan *fee*.

**Kata kunci** : Optimasi; *Team Work* Tenaga Kerja; Bekisting; *Dynamic Programming*

### ABSTRACT

*The need for workforce in the Sidoarjo Building X Building Project with a height of 3 floors and a building area of  $\pm 2,592 \text{ m}^2$  has fluctuations. The purpose of this study is to analyze the planning needs of formwork workforce teamwork in concrete structure work using the Dynamic Programming optimization method to minimize the cost allocation for formwork workforce teamwork needs. The data needed is the volume of formwork work, AHSP 2016 Public Works Sector in PUPR Regulation No. 28 of 2016, master schedule of the project, HSD Sidoarjo 2019. Workforce requirements are calculated based on the composition of the workforce (teamwork). The results of the calculation of the total allocation of workforce formwork workforce needs are 324 teamwork. The number of optimal workforce needs for the formwork workforce is equal to the minimum number of workforce that is 324 teamwork. The cost of allocating the formwork workforce needs for the total workforce before optimization was Rp 929,313,383.22 while the cost of allocating the needs for the workforce teamwork for total formwork after optimization was Rp330,524,416.61. So that the cost-efficiency of the teamwork workforce calculated based on the Dynamic Programming method of Rp. 598,788,966.61 includes overhead and fees.*

**Keywords** : Optimization, Workforce Team Work, Formwork, Dynamic Programming

### 1. PENDAHULUAN

Proyek Konstruksi merupakan aktivitas pekerjaan yang tidak dapat berulang pada proyek lainnya, hal ini disebabkan oleh kondisi suatu proyek konstruksi berbeda satu sama lainnya seperti halnya kebutuhan jumlah tenaga kerja. Mengingat tenaga kerja merupakan sumber daya proyek yang bersifat fluktuatif dan sulit diprediksi, keberadaan tenaga kerja dalam pelaksanaan suatu proyek tidak dapat berdiri sendiri. Oleh karena itu dibutuhkan manajemen pengelolaan yang baik dalam mengatur tenaga kerja. Manajemen tenaga kerja ini meliputi upaya untuk menentukan kebutuhan jumlah

tenaga kerja optimum, menentukan kombinasi tenaga kerja terbaik, dan mengalokasikan waktu tenaga kerja yang penerapannya disesuaikan dengan riset operasi.

Proyek Pembangunan Gedung X di Sidoarjo merupakan salah satu upaya pengembangan bangunan dan peningkatan fasilitas. Berdasarkan kontrak, waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek ini adalah 330 hari kalender dengan tinggi bangunan 3 lantai dan luas bangunan  $\pm 2.592 \text{ m}^2$ . Jika ditinjau berdasarkan kebutuhan tenaga kerja dari minggu ke minggu akan mengalami pasang surut (fluktuasi) sepanjang waktu proyek, khususnya *Team Work (TW)* tenaga kerja

bekisting. Pasang surut tersebut tidak diinginkan oleh kontraktor dikarenakan akan menyebabkan pembengkakan biaya proyek. Oleh karena itu diperlukannya penentuan jumlah kebutuhan tenaga kerja optimum.

Dengan pengoptimalan tenaga kerja ini diharapkan dapat menghasilkan biaya tenaga kerja yang minimal.

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan tersebut maka tujuan dari penelitian ini meliputi:

1. Menghitung jumlah alokasi kebutuhan *TW* tenaga kerja bekisting pada pekerjaan struktur beton Gedung X.
2. Menghitung biaya *TW* tenaga kerja bekisting sebelum dilakukan optimasi pada pekerjaan struktur beton Gedung X.
3. Menghitung jumlah kebutuhan *TW* tenaga kerja bekisting yang optimal pada pekerjaan struktur beton Gedung X.
4. Menghitung biaya *TW* tenaga kerja bekisting setelah dilakukan optimasi pada pekerjaan struktur beton Gedung X.
5. Menghitung efisiensi biaya alokasi kebutuhan *TW* tenaga kerja bekisting.

### Tenaga Kerja

Persoalan utama dalam masalah tenaga kerja bagi kontraktor yang volume usahanya naik turun adalah bagaimana menyeimbangkan antara jumlah kebutuhan tenaga kerja dengan jumlah pekerjaan yang tersedia dari waktu ke waktu. Tidak ekonomis untuk menahan atau memiliki tenaga kerja dalam jumlah besar pada volume pekerjaan sedang menurun (Soeharto, 2001). Tenaga kerja yang digunakan adalah tenaga kerja langsung. Tenaga Kerja Langsung (*Direct Hire*) adalah tenaga yang direkrut dan menandatangani ikatan kerja perorangan dengan perusahaan kontraktor (Soeharto, 2001).

### Sumber Daya Manusia

Sumber daya manusia (tenaga kerja) merupakan salah satu sumber daya yang penting dalam suatu proyek, di mana seringkali penyediaannya terbatas. Kebutuhan tenaga kerja dapat berfluktuasi sesuai dengan volume pekerjaan, sehingga penyediaan jumlah tenaga kerja harus mengikuti tuntutan perubahan kegiatan yang sedang berlangsung. Oleh karena setiap aktivitas memerlukan waktu dan sumber daya, maka pada setiap periode waktu dalam jadwal pelaksanaan tingkat kebutuhan sumber daya manusia tidak selalu sama besar tergantung pada volume pekerjaan dan jenis pekerjaan (Sutjipto, 1986). Jenis alokasi yang digunakan adalah alokasi sumber daya tidak terbatas. Alokasi sumber daya tidak terbatas adalah alokasi sumber daya dimana tingkat kemampuan penyediaan sumber daya dapat mencukupi kebutuhan. Untuk alokasi sumber daya tidak terbatas dapat dilakukan *leveling dynamic* atau pemerataan dengan batasan waktu tertentu (*time-limit*) (Sutjipto, 1986).

### Perencanaan Tenaga Kerja Konstruksi

Perencanaan Sumber Daya Manusia (tenaga kerja) dalam suatu proyek mempertimbangkan beberapa hal, seperti perkiraan jenis, waktu, dan lokasi proyek, baik secara kualitas maupun kuantitas. Untuk merencanakan tenaga kerja proyek yang realistis perlu mempertimbangkan beberapa faktor, di antaranya adalah (Husen, 2011:116): 1) Produktivitas tenaga kerja; 2) Jumlah tenaga kerja pada periode maksimal; 3) Jumlah tenaga kerja tetap dan tidak tetap; 4) Biaya yang dimiliki dan jenis pekerjaan.

Produktivitas kelompok kerja adalah kemampuan tenaga kerja pada pekerjaan dalam satuan waktu. Produktivitas dapat digunakan untuk menentukan jumlah tenaga kerja beserta upah yang harus dibayarkan (Husen, 2011:116).

Langkah-langkah menghitung rencana kebutuhan tenaga kerja sebagai berikut:

1. Mengetahui volume pekerjaan bekisting
2. Mengetahui koefisien tenaga kerja. Dalam Permen PUPR No. 28 Tahun 2016 untuk pekerjaan yang dilakukan secara manual, koefisien tenaga kerja telah tersedia dalam tabel. Kinerja tenaga kerja didapat berdasarkan hasil pengamatan dan pengalaman dilapangan yang kemudian diformulasikan sebagai koefisien tenaga kerja pada masing-masing item pekerjaan (Permen PUPR No. 28 Tahun 2016).
3. Menghitung kebutuhan tenaga kerja menggunakan **Persamaan 1** (Permen PUPR No. 28 Tahun 2016).

$$SD = \text{Koef} \times V \quad (1)$$

Keterangan: SD = Jumlah tenaga kerja; V = Volume pekerjaan

4. Menghitung jumlah kebutuhan tenaga kerja per hari menggunakan **Persamaan 2** (Permen PUPR No. 28 Tahun 2016).

$$SD_h = SD / T_k \quad (2)$$

Keterangan:  $SD_h$  = Jumlah tenaga kerja per hari; SD = Jumlah tenaga kerja;  $T_k$  = Durasi pekerjaan.

### Perhitungan Biaya Upah Tenaga Kerja

Langkah-langkah menghitung biaya upah tenaga kerja sebagai berikut:

1. Menghitung harga satuan upah tenaga kerja menggunakan **Persamaan 3** (Permen PUPR No. 28 Tahun 2016).  
 $\text{Harga Upah} = \text{Koef} \times \text{Harga satuan upah daerah}$  (3)  
 Harga satuan upah daerah yang dimaksud berdasarkan pada AHSP Semester 1 Tahun Anggaran 2019 Daerah Kabupaten Sidoarjo.
2. Menghitung biaya tenaga kerja perhari menggunakan **Persamaan 4** (Permen PUPR No. 28 Tahun 2016).

$$\text{Biaya tenaga} = \text{Harga upah} \times SD_h \quad (4)$$

Keterangan:  $SD_h$  = Jumlah tenaga kerja per hari

### Penentuan Biaya Penggunaan Tenaga Kerja

Biaya penggunaan tenaga kerja dapat diartikan sebagai biaya yang dikeluarkan untuk tenaga kerja serta segala sesuatu atau kebutuhan untuk menunjang tenaga kerja saat melaksanakan pekerjaan. Pada biaya alokasi tenaga kerja dihitung berdasarkan biaya mempertahankan, biaya

menambah, dan biaya memberhentikan dengan langkah-langkah sebagai berikut (Safiatus, 2002):

1. Menghitung biaya mempertahankan menggunakan **Persamaan 5** (Safiatus, 2002).

$$C_1 = n \times SD_m \text{ (Harga upah + Biaya fasilitas)} \quad (5)$$

Keterangan:

$C_1$  = Biaya mempertahankan tenaga kerja;  $n$  = Jumlah hari;  $SD_m$  = Jumlah tenaga kerja yang dipertahankan.

Biaya fasilitas yang dimaksud terdiri dari bedeng pekerja, listrik dan air, asuransi, dan P3K.

2. Menghitung biaya menambah menggunakan **Persamaan 6** (Safiatus, 2002).

$$C_2 = SD_m \times (\text{Biaya transport} + \text{Biaya perantara}) \quad (6)$$

Keterangan:

$C_2$  = Biaya menambah tenaga kerja

$SD_m$  = Jumlah tenaga kerja yang ditambah

3. Menghitung biaya memberhentikan menggunakan **Persamaan 7** (Safiatus, 2002).

$$C_3 = SD_m \times (U_P + U_{PMK} + U_{PH}) \quad (7)$$

Keterangan:

$C_3$  = Biaya memberhentikan tenaga kerja;  $SD_m$  =

Jumlah tenaga kerja yang ditambah;  $U_P$  = Uang

pesangon;  $U_{PMK}$  = Uang penghargaan;  $U_P$  = Uang

penggantian hak

Kewajiban pengusaha membayar uang pesangon dan uang lainnya tersebut kepada pekerjanya dalam hal terjadi PHK dapat diatur dalam Pasal 156 ayat 1 UU Ketenagakerjaan yang mengatakan bahwa dalam hal terjadi pemutusan hubungan kerja, pengusaha diwajibkan membayar uang pesangon, uang penghargaan masa kerja, dan uang penggantian hak yang seharusnya diterima. Berikut akan diuraikan beberapa pasal yang mengatur tentang cara menghitung uang pesangon dan/atau uang penghargaan masa kerja satu-persatu:

- a. Perhitungan Uang Pesangon yang terdapat pada UU Ketenagakerjaan Pasal 156 Ayat (2), ditunjukkan pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Uang Pesangon yang Didapat

Masa Kerja	Uang Pesangon yang Didapat
< 1 tahun	1 bulan upah

Sumber: Undang-Undang No. 13 Tahun 2003 Tentang Ketenagakerjaan

- b. Perhitungan Uang Penghargaan Masa Kerja yang terdapat pada UU Ketenagakerjaan Pasal 156 Ayat (3), ditunjukkan pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Penghargaan Masa Kerja yang Didapat

Masa Kerja	Uang Penghargaan Masa Kerja
3 tahun atau lebih tetapi kurang dari 6 tahun	2 bulan upah

Sumber: Undang-Undang No. 13 Tahun 2003 Tentang Ketenagakerjaan

- c. Perhitungan Uang Penggantian Hak yang terdapat pada UU Ketenagakerjaan Pasal 156 Ayat (4), terdiri

dari biaya atau ongkos pulang pekerja ke tempat dimana pekerja diterima bekerja.

### Dynamic Programming

Pemrograman dinamis (*Dynamic Programming*) adalah prosedur matematis yang terutama dirancang untuk memperbaiki efisiensi perhitungan masalah pemrograman matematis tertentu dengan menguraikannya menjadi bagian-bagian masalah yang lebih kecil, dan karena itu lebih sederhana dalam penghitungan. Pemrograman dinamis pada umumnya menjawab masalah dalam tahap-tahap, dengan setiap tahap meliputi satu variabel optimasi. Perhitungan di tahap yang berbeda-beda dihubungkan melalui perhitungan rekursif dengan cara yang menghasilkan pemecahan optimal yang mungkin bagi seluruh masalah (Taha, 1996).

Pendekatan program dinamik meliputi optimisasi proses keputusan multi tahap, yaitu membagi suatu persoalan ke dalam tahap-tahap atau *sub problem* dan kemudian menyelesaikan sub problem itu secara berurutan sampai persoalan awal akhirnya dapat diselesaikan. Jantung pendekatan program dinamik adalah asas optimalitas Bellman (1950) yang mengatakan bahwa suatu kebijaksanaan optimal mempunyai sifat bahwa apapun keadaan awal atau keputusan awal keputusan tersisa harus merupakan kebijaksanaan optimal terhadap keadaan yang dihasilkan keputusan pertama (Siagian, 1987).

## 2. METODE

### Pendekatan Perhitungan Tenaga Kerja

Pada perhitungan kebutuhan tenaga kerja dihitung berdasarkan komposisi tenaga kerja persatuan pekerjaan (*TW*) berdasarkan AHSP Permen PUPR No. 28 Tahun 2016. Jumlah kebutuhan *TW* tenaga kerja akan digunakan untuk menghitung biaya *TW* tenaga kerja, dimana akan dilakukan pendekatan dalam perhitungan kebutuhan *TW* tenaga kerja dan biaya *TW* tenaga kerja untuk mendapatkan hasil sesuai di lapangan Menurut beberapa praktisi pendekatan tersebut dapat dicapai dengan menggunakan biaya upah dan komposisi tenaga kerja persatuan pekerjaan dalam AHSP Permen PUPR No. 28 Tahun 2016 namun dengan menghilangkan kepala tukang pada komposisi tenaga kerja tiap item pekerjaan. Sehingga komposisi dan koefisien *TW* tenaga kerja seperti disajikan pada **Tabel 3** berikut:

**Tabel 3.** Koefisien Pemasangan 1 m<sup>2</sup> bekisting untuk kolom

No.	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien
A	TENAGA			
	Pekerja	L.01	OH	0.660
	Tukang kayu	L.02	OH	0.330
	Mandor	L.04	OH	0.033

Sumber: AHSP Permen PUPR No. 28 Tahun 2016

### Hubungan Rekursif

Pada program dinamik ada dua rekursif yang dapat digunakan yaitu perhitungan dari depan ke belakang (*forward recursive equation*) dan perhitungan dari belakang ke depan (*backward recursive equation*) (Siagian, 1987).

Dalam kajian ini menggunakan prosedur dari belakang ke depan, yaitu urutan perhitungannya seperti **Persamaan 8**

$$f_n \rightarrow f_{n-1} \rightarrow f_{n-2} \rightarrow \dots \rightarrow f_1 \quad (8)$$

Keterangan:  $f_n$  = merupakan fungsi awal dari fungsi rekursif;  $f_1$  = merupakan fungsi akhir.

**Menentukan Persamaan Rekursif**

Pada setiap tahap dilakukan optimasi tenaga kerja, sehingga dengan proses optimasi akan diperoleh suatu keputusan untuk tiap-tiap tahap berupa jumlah tenaga kerja optimal yang harus ada dalam tiap tahap tersebut. Keputusan yang ada dalam tiap tahap akan memberikan kontribusi terhadap biaya mempertahankan, menambah, dan mengurangi tenaga kerja.

Komponen-komponen penyusun yang harus ada dalam persamaan rekursif dengan prosedur perhitungan mundur yaitu (Taha, 1996):

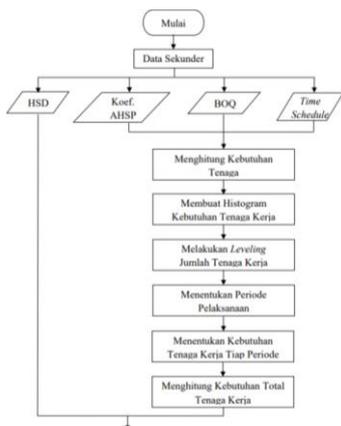
1. Tahap j menunjukkan periode ke-j yang ditinjau.
2. State  $Y_{j-1}$  pada tahap j adalah jumlah tenaga kerja yang ada pada akhir tahap j-1.
3. Alternatif  $Y_j$  (variable keputusan) merupakan jumlah tenaga kerja yang ada pada periode ke-j.
4.  $C_1$  adalah biaya mempertahankan jika  $Y_j > b_j$  ( $Y_j > b_j$ ).
5.  $C_2$  adalah biaya yang dikeluarkan jika menambah tenaga kerja baru ( $Y_j > Y_{j-1}$ ).
6.  $C_3$  adalah biaya yang dikeluarkan jika mengurangi tenaga kerja ( $Y_{j-1} > Y_j$ ).
7.  $b_j$  menunjukkan jumlah tenaga kerja minimum yang ada pada tahap ke-j.

Selanjutnya membuat persamaan rekursif secara umum yang dapat dilihat pada **Persamaan 13** dan **Persamaan 14**:

$$F_j(Y_{j-1}) = \min_{j=1,2,3,\dots,n} \{C_1(Y_j - b_j) + C_2(Y_j - Y_{j-1}) + C_3(Y_{j-1} - Y_j)\} \quad (13)$$

$$F_j(Y_{j-1}) = \min_{j=1,2,3,\dots,n-1} \{C_1(Y_j - b_j) + C_2(Y_j - Y_{j-1}) + C_3(Y_{j-1} - Y_j) + F_{j+1}(Y_j)\} \quad (14)$$

**Diagram Alir**

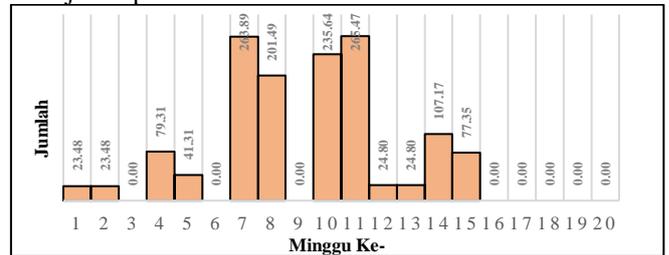


**Gambar 1.** Diagram Alir Perhitungan Optimasi Tenaga Kerja Bekisting

Diagram alir dalam tahapan menghitung optimasi kebutuhan operator pada proyek Apartemen X, terdapat pada **Gambar 1**.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**  
**Kebutuhan Tenaga Kerja Bekisting**

Pada perhitungan kebutuhan tenaga kerja dihitung berdasarkan komposisi tenaga kerja persatuan pekerjaan (*TW*), sehingga dapat diartikan untuk melaksanakan pekerjaan pemasangan bekisting tiap 1 m<sup>2</sup> dibutuhkan 1 *TW* dengan koefisien *TW* tersebut adalah 1 dan durasi pekerjaan dalam 1 hari. Kebutuhan tenaga kerja bekisting pada Proyek Pembangunan Gedung X dihitung menggunakan **Persamaan 1** dan **Persamaan 2** sehingga didapatkan hasil yang ditunjukkan pada **Gambar 2**.



**Gambar 2.** Histogram Jumlah Kebutuhan *TW* Pada Pekerjaan Bekisting Per Minggu

Berdasarkan **Gambar 2** dapat dilihat masih terjadi pasang surut (fluktuasi) tenaga kerja, oleh karena itu diperlukannya *leveling* kebutuhan tenaga kerja. Hasil *leveling* dapat dilihat pada **Tabel 4**.

**Tabel 4.** Kebutuhan Total *TW* Bekisting

Minggu <i>leveling</i>	Jumlah Hari	Periode	Jumlah
1-2	14	1	14
3	7	2	0
4-5	14	3	35
6-8	21	4	106
9-11	21	5	99
12-13	14	6	15
14-15	14	7	55
16-20	35	8	0
Total			324

Sumber: Hasil Perhitungan

**Perhitungan Biaya *TW* Bekisting Sebelum Optimasi**  
**Tabel 5. Biaya *TW* Bekisting Sebelum Optimasi**

Periode	Jumlah min. TW	Total Biaya per Periode
1	14	Rp 30,881,214.85
2	0	Rp 3,560,981.42
3	35	Rp 77,203,037.14
4	106	Rp 338,119,008.71
5	99	Rp 308,073,778.28
6	15	Rp 52,304,604.46
7	55	Rp 119,170,758.36
8	0	0
Total		Rp 929,313,383.22

Sumber: Hasil perhitungan

Biaya TW tenaga kerja bekisting sebelum optimasi didapatkan dengan menjumlahkan biaya menambah, biaya mempertahankan, dan biaya mengurangi TW tenaga kerja tiap periode sesuai dengan **Persamaan 5, 6, dan 7**. Total biaya TW tenaga kerja bekisting sebelum optimasi sebesar Rp 923,416,867.47, ditunjukkan pada **Tabel 5**.

### Persamaan Rekursif

Persamaan rekursif yang digunakan adalah model perhitungan mundur. Jadi untuk tahap j dapat dilihat pada **Persamaan 13 dan 14**, sebagai berikut.

- Persamaan rekursif mundur untuk  $j = n$  (awal perhitungan)  

$$F_j(Y_{j-1}) = \{C_1(Y_j - b_j) + C_2(Y_j - Y_{j-1}) + C_3(Y_{j-1} - Y_j)\} \quad (13)$$
- Persamaan rekursif mundur untuk  $j = 1, 2, 3, 4, \dots, n-1$   

$$F_j(Y_{j-1}) = \min_{j=1,2,3,\dots,n-1} \{C_1(Y_j - b_j) + C_2(Y_j - Y_{j-1}) + C_3(Y_{j-1} - Y_j) + F_{j+1}(Y_j)\} \quad (14)$$

Keterangan:

- $j$  : Tahap menunjukkan periode ke-j yang ditinjau.
- $Y_{j-1}$  : Jumlah tenaga kerja yang ada pada akhir tahap j-1.
- $Y_j$  : Alternatif  $Y_j$  (variable keputusan) jumlah tenaga kerja yang ada pada periode ke-j.
- $C_1$  : Biaya mempertahankan jika  $Y_j$  melebihi  $b_j$  ( $Y_j > b_j$ ).
- $C_2$  : Biaya yang dikeluarkan jika menambah tenaga kerja baru ( $Y_j > Y_{j-1}$ ).
- $C_3$  : Biaya yang dikeluarkan jika mengurangi tenaga kerja ( $Y_{j-1} > Y_j$ ).
- $b_j$  : Jumlah tenaga kerja minimum yang ada pada tahap ke-j.

Dimana perhitungan dimulai dari tahap akhir (periode ke-8) menuju tahap pertama (periode ke-1). Penjabaran perhitungan biaya mempertahankan, menambah, dan mengurangi TW tenaga kerja bekisting sebagai berikut:

- Biaya mempertahankan ( $C_1$ )  
 Menghitung biaya mempertahankan TW menggunakan **Persamaan 15**. Hasil biaya mempertahankan TW bekisting sebesar Rp 147,327.22 TW/hari.
- Biaya menambah ( $C_2$ )  
 Menghitung biaya menambah TW menggunakan **Persamaan 16**. Hasil biaya menambah TW sebesar Rp 143,220.00 per TW tiap ada penambahan TW.
- Biaya memberhentikan ( $C_3$ )  
 Menghitung biaya memberhentikan TW menggunakan **Persamaan 17** dengan biaya yang dihitung sesuai dengan Undang-undang No. 13 Tahun 2003 tentang

ketenagakerjaan. Hasil biaya memberhentikan sebesar Rp 254,335.82 per TW tiap ada pengurangan TW.

**Tabel 6** menunjukkan nilai parameter yang dibutuhkan dalam persamaan rekursif per periode.

**Tabel 6. Parameter Persamaan Rekursif TW Bekisting**

Periode	$\Sigma$ Hari	$C_1$	$C_2$	$C_3$
1	14	Rp 2,062,581.06	Rp 143,220.00	Rp 254,335.82
2	7	Rp 1,031,290.53	Rp 143,220.00	Rp 254,335.82
3	14	Rp 2,062,581.06	Rp 143,220.00	Rp 254,335.82
4	21	Rp 3,093,871.59	Rp 143,220.00	Rp 254,335.82
5	21	Rp 3,093,871.59	Rp 143,220.00	Rp 254,335.82
6	14	Rp 2,062,581.06	Rp 143,220.00	Rp 254,335.82
7	14	Rp 2,062,581.06	Rp 143,220.00	Rp 254,335.82
8	35	Rp 5,156,452.65	Rp 143,220.00	Rp 254,335.82

Sumber: Hasil Perhitungan

### Tabel Kemungkinan Nilai $Y_j$

Tabel kemungkinan  $Y_j$  adalah jumlah tenaga kerja yang mungkin menjadi nilai  $Y_j$  yang optimal pada optimasi masing-masing periode. Berikut tabel kemungkinan  $Y_j$  untuk TW tenaga kerja bekisting pada **Tabel 6**.

Keterangan:

- $b_j$  : jumlah tenaga kerja minimal
- $Y_j$  : nilai kemungkinan optimal jumlah TW

**Tabel 6. Tabel Kemungkinan  $Y_j$  TW Bekisting**

Periode	$\Sigma$ Hari	$b_j$	Kemungkinan $Y_j$
1	14	14	14 - 35
2	7	0	0 - 35
3	14	35	35 - 106
4	21	106	106 - 106
5	21	99	99 - 99
6	14	15	15 - 55
7	14	55	55 - 55
8	35	0	0 - 0

Sumber: Hasil Perhitungan

### Optimasi TW Bekisting

Setelah menentukan persamaan rekursif dari TW tenaga kerja bekisting. Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan cara mundur dari persamaan rekursif tersebut. Hasil dari optimasi menggunakan **Persamaan 13 dan 14** disajikan pada **Tabel 7**.

**Tabel 7. Hasil Optimasi TW Bekisting**

Tahap	$\Sigma$ TW Optimal	Biaya
1	14	Rp 42,702,010.56
2	0	Rp 40,696,930.56
3	35	Rp 37,135,949.14
4	106	Rp 37,135,949.14
5	99	Rp 37,135,949.14
6	15	Rp 35,355,458.42
7	55	Rp 13,989,569.88
8	0	Rp 13,989,569.88

Sumber: Hasil Perhitungan

### Biaya Hasil Optimasi

Biaya hasil optimasi didapat dari nilai penambahan biaya untuk TW bekisting. Penambahan biaya tersebut dihitung dengan cara mengurangi biaya TW tenaga kerja optimal pada tahap awal dengan tahap berikutnya berdasarkan **Tabel 7**.

Penambahan biaya pada setiap tahap dapat dilihat pada **Tabel 8** berikut ini.

**Tabel 8. Penambahan Biaya Hasil Optimasi**

Tahap	Biaya	Penambahan Biaya
1	Rp 42,276,690.56	Rp -
2	Rp 40,696,930.56	Rp 2,005,080.00
3	Rp 37,135,949.14	Rp 3,560,981.42
4	Rp 37,135,949.14	Rp -
5	Rp 37,135,949.14	Rp -
6	Rp 35,355,458.42	Rp 1,780,490.71
7	Rp 13,989,569.88	Rp 21,365,888.54
8	Rp 13,989,569.88	Rp -

Sumber: Hasil Perhitungan

Setelah diketahui nilai penambahan pada setiap tahapnya kemudian menghitung biaya optimal *TW* tenaga kerja bekisting. Biaya *TW* tenaga kerja bekisting optimal pada tahap 1 ditentukan dengan menambahkan semua biaya pada periode 1. Total biaya *TW* tenaga kerja bekisting tahap 1 adalah Rp 30,881,214.85. Untuk tahap 2 dan selanjutnya biaya *TW* tenaga kerja dihitung berdasarkan **Tabel 8** ditambah dengan biaya sebelumnya. Hasil perhitungan biaya *TW* tenaga kerja bekisting optimal dapat dilihat dalam **Tabel 9** berikut.

**Tabel 9. Biaya *TW* Bekisting Optimal**

Periode	$\sum$ <i>TW</i> Optimal	Biaya Optimum
1	14	Rp 30,881,214.85
2	0	Rp 32,886,259.85
3	35	Rp 36,447,276.28
4	106	Rp 36,447,276.28
5	99	Rp 36,447,276.28
6	15	Rp 38,227,766.99
7	55	Rp 59,593,655.53
8	0	Rp 59,593,655.53
Total	324	Rp 330,524,416.61

Sumber: Data Primer

#### Efisiensi Biaya Alokasi Kebutuhan *TW* Bekisting

Dari perhitungan biaya *TW* tenaga kerja bekisting diperoleh perbandingan biaya sebelum dan sesudah optimasi dengan Metode *Dynamic Programming*. Sehingga dihasilkan efisiensi biaya sebesar Rp 598,788,966.61.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dibahas diatas, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Jumlah alokasi kebutuhan *TW* tenaga kerja bekisting pada pekerjaan struktur beton Gedung X sebanyak 324 *TW* tenaga kerja.
2. Biaya *TW* tenaga kerja bekisting sebelum dilakukan optimasi pada pekerjaan struktur beton Gedung X adalah Rp 929,313,383.22.
3. Jumlah kebutuhan *TW* tenaga kerja bekisting yang optimal pada pekerjaan struktur beton Gedung X sebanyak 324 *TW* tenaga kerja.
4. Biaya *TW* tenaga kerja bekisting setelah dilakukan optimasi pada pekerjaan struktur beton Gedung X adalah Rp 330,524,416.61.

5. Efisiensi biaya alokasi kebutuhan *TW* tenaga kerja bekisting setelah dilakukannya optimasi menggunakan Metode *Dynamic Programming* sebesar Rp 598,788,966.61.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Husen, Ir. Abrar. 2011. *Manajemen Proyek (Perencanaan, Penjadwalan, & Pengendalian Proyek)*. Yogyakarta: Andi Offset.
- [2] Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 28/PRT/M/2016. *Analisis Harga Satuan Pekerjaan Umum*. 2016. JDIH Kementerian PUPR.
- [3] Safiatus, Sitti. 2002. *Optimalisasi Biaya Pengadaan Tenaga Kerja Pembetonan*, Bistek Jurnal Bisnis dan Teknologi, volume 10 No. 2 Agustus, hal 154-163.
- [4] Siagian, P. 1987. *Penelitian Operasional: Teori dan Praktek*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- [5] Soeharto, Iman. 2001. *Manajemen Proyek: Dari Konseptual Sampai Operasional Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- [6] Sutjipto, R., dkk. 1986. *Manajemen Proyek Konstruksi – jilid 1*. Surabaya: Kartika Yudha.
- [7] Taha, Hamdy A. 1996. *Riset Operasi Suatu Pengantar*. Jakarta: Binarupa Aksara.
- [8] Undang-Undang Republik Indonesia No. 13 Tahun 2003. *Ketenagakerjaan*. 2003. Jakarta: Presiden Republik Indonesia.