

OPTIMASI JUMLAH OPERATOR ALAT BERAT PADA PEKERJAAN STRUKTUR PROYEK APARTEMEN X MENGGUNAKAN *DYNAMIC PROGRAMMING METHOD*

Taufan Adhi Putra¹, Sitti Safiatu Riskijah², Joko Setiono³

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

²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang, ³Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang

¹taufanadhiputra@hotmail.com, ²ririssafiatu@gmail.com, ³jokosetiono405@gmail.com

ABSTRAK

Proyek konstruksi Apartemen X Semarang terdiri dari 22 lantai menggunakan struktur bertulang, dengan volume pekerjaan 47.741,33 m³ casting; volume pekerjaan 183.641,79 m² bekisting; dan volume pekerjaan 7.865.559,13 kg tulangan. Berdasarkan penjadwalan tenaga kerja diketahui telah terjadi fluktuasi tenaga kerja (operator), khususnya tenaga kerja operator. Dengan demikian, operator optimal diperlukan untuk meminimalkan harga operator. Tujuan dari optimasi ini adalah untuk menentukan jumlah kebutuhan dan harga operator yang optimal. Data yang diperlukan adalah rencana kerja dan kondisi, jadwal, analisis harga satuan kerja Semarang 2016, dan volume kerja. Total tenaga kerja dan harga operator yang dibutuhkan mengacu pada Peraturan Menteri (Permen PUPR No. 28, 2016). Solusi penelitian operasi dengan metode Pemrograman Dinamis digunakan untuk optimisasi. Hasil optimasi pada 2.798 kebutuhan operator yang direncanakan pada Rp446.082.259 dan hasil optimasi yang diperoleh 2.798 operator yang optimal membutuhkan minimum Rp223.773.671.

Kata kunci: pekerjaan struktur yang diperkuat, tenaga kerja, optimasi, pemrograman dinamis

ABSTRACT

Apartment X construction project Semarang consisting of 22 floors using reinforced structural, with volume of work 47,741.33 m³ of casting; volume of work 183,641.79 m² of formwork; and volume of work 7,865,559.13 kg of reinforcement. Based on workforce scheduling it is known has been fluctuation of manpower (operator), especially operator manpower. Thus the optimum operator is needed to minimize the operator price. The purpose of this optimization is to determine the optimum amount of operator needs and price. The required data were of work plan and conditions, schedule, work unit price analysis of Semarang 2016, and work volume. The required total operator manpower and price referred to Minister Regulation (PerMen) PUPR no. 28, 2016. Operations research solution with Dynamic Programming methods were used for optimization. The optimization results in 2,798 planned operator need at IDR 446,082,259 and the optimization results obtained 2,798 optimum operator need minimum at IDR 223,773,671.

Keywords: reinforced structural work, manpower, optimization, dynamic programming

1. PENDAHULUAN

Semakin maju sebuah kota tentu akan membuat kota semakin padat penghuni, alasan keterbatasan lahan menjadi salah satu faktor utama dibangunnya Apartemen X. Apartemen yang dibangun dipinggiran kota dengan kondisi yang mendukung dan harga yang terjangkau bagi masyarakat kelas menengah, sangat diminati pembeli.

Proyek pembangunan Apartemen X di Semarang terdiri dari 22 lantai yang menggunakan struktur bertulang.

Berdasarkan penjadwalan tenaga kerja diketahui kebutuhan tenaga kerja berfluktuasi, khususnya tenaga kerja operator.

Suatu proyek konstruksi dapat dikatakan berhasil apabila dapat terselesaikan dan terpenuhinya tiga aspek utama, antara lain kebutuhan biaya sesuai alokasi proyek (tepat biaya), mutu yang dihasilkan sesuai spesifikasi perencanaan (tepat mutu), dan proyek dapat terselesaikan sesuai perencanaan (tepat waktu). Dalam keberhasilan tersebut terdapat unsur tenaga kerja. Tenaga kerja sangat berpengaruh dalam pelaksanaan suatu proyek, sehingga

membutuhkan sistem pengelolaan tenaga kerja yang baik karena sumber tenaga kerja merupakan salah satu sumber daya yang kompleks dan sulit untuk ditebak. Manajemen tenaga kerja ini dapat berupa penentuan komposisi tenaga kerja, penentuan jumlah tenaga kerja optimum, dan pengalokasian tenaga kerja.

Dengan pengoptimalan tenaga kerja diharapkan suatu proyek mendapat keuntungan yang maksimal atau menggunakan biaya yang minimal. Maka perlu adanya kajian terhadap tenaga kerja pada proyek tersebut.

Dengan memperhatikan latar belakang dan permasalahan tersebut diatas maka tujuan pembahasan ini meliputi:

1. Menghitung jumlah rencana kebutuhan operator pada pekerjaan struktur beton Proyek X.
2. Menghitung rencana biaya operator pada Proyek X sebelum optimasi.
3. Menghitung rencana biaya penggunaan operator yang minimum.

Perencanaan Tenaga Kerja Proyek

Sumber daya manusia atau tenaga kerja, sebagai penentu keberhasilan proyek, harus memiliki kualifikasi, keterampilan dan keahlian yang sesuai dengan kebutuhan untuk mencapai keberhasilan suatu proyek Perencanaan sumber daya manusia dalam suatu proyek mempertimbangkan juga perkiraan jenis, waktu, dan lokasi proyek, baik secara kualitas maupun kuantitas. Proyek yang secara geografis berbeda biasanya membutuhkan pengelolaan dan ketersediaan tenaga kerja yang juga berbeda. Faktor lain yang harus dipertimbangkan dalam merencanakan tenaga kerja adalah (Husen, 2011: 116):

1. Produktivitas tenaga kerja.
2. Jumlah tenaga kerja pada periode yang paling maksimal.
3. Jumlah tenaga kerja tetap dan tidak tetap.
4. Biaya yang dimiliki dan jenis pekerjaan.

Produktivitas kelompok pekerja adalah kemampuan tenaga kerja dalam menyelesaikan pekerjaan (satuan volume pekerjaan) yang dibagi dalam satuan waktu, jam atau hari. Produktivitas dapat digunakan untuk menentukan jumlah tenaga kerja beserta upah yang harus dibayarkan (Husen, 2011: 117).

Langkah-langkah perhitungan rencana kebutuhan operator sebagai berikut:

1. Mengetahui jenis *item* pekerjaan pada pekerjaan bekisting, pekerjaan tulangan, dan pekerjaan beton.
2. Mengetahui volume pekerjaan.
3. Menghitung produksi alat, menurut Hadi (2018: 23) produksi alat yaitu kemampuan alat berat untuk memindahkan atau menggosur, mengeruk, dan mengangkut tanah dari satu tempat ke tempat yang lain dalam satu jam (m³/jam). Dalam menghitung produksi *Dump Truck* (Permen PUPR No.28 Tahun 2016:42), menggunakan **Persamaan 1**.

$$Q = \frac{V \times F_a \times 60}{D \times T_s} \quad (1)$$

Menghitung produksi *Excavator, Hydraulic Drilling, Crane, Tower Crane* (Permen PUPR No.28 Tahun 2016:82), menggunakan **Persamaan 2**.

$$Q = \frac{V \times F_b \times F_a \times 60}{F_v \times T_s} \quad (2)$$

Dan menghitung produksi *Truck Mixer* (Permen PUPR No.28 Tahun 2016:59), menggunakan **Persamaan 3**.

$$Q = \frac{V \times F_a \times 60}{T_s} \quad (3)$$

Keterangan:

Q : Produksi alat

V : Kapasitas alat per siklus

T_s : Waktu siklus

F_a : Efisiensi kerja, tergantung kondisi kerja dan kondisi lapangan

F_b : Faktor *bucket*

F_v : Faktor konversi

D : Berat isi material

4. Menghitung koefisien tenaga kerja, koefisien tenaga adalah angka-angka jumlah kebutuhan tenaga yang diperlukan untuk mengerjakan suatu pekerjaan dalam satu satuan tertentu (Ahadi dalam web <https://ilmusipil.com>). Dalam Permen PUPR No.28 Tahun 2016 untuk pekerjaan yang dilakukan secara manual, koefisien tenaga 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 2016:61). Untuk koefisien tenaga dengan alat berat, menggunakan persamaan umum yang dijabarkan pada **Persamaan 4** (Permen PUPR No.28 Tahun 2016:148).

$$\text{Koef. O} = O / Q \quad (4)$$

Keterangan:

Q : Produksi alat

O : Kebutuhan operator pada alat berat

5. Menghitung jumlah tenaga kerja menggunakan **Persamaan 5** (PerMen PUPR no.28 tahun 2016).

$$O = \text{Koef. O} \times V \quad (5)$$

keterangan:

O : Jumlah operator

V : Volume pekerjaan

6. Menentukan jumlah kebutuhan tenaga per hari menggunakan **Persamaan 6** (Permen PUPR No.28 Tahun 2016).

$$O_h = O / T_k \quad (6)$$

keterangan:

O_h : Jumlah operator per hari

O : Jumlah operator

T_k : Durasi pekerjaan

Penjadwalan Proyek

Penjadwalan adalah pengalokasian waktu yang tersedia untuk melaksanakan masing-masing pekerjaan, dalam rangka menyelesaikan suatu proyek hingga tercapainya hasil optimal dengan mempertimbangkan keterbatasan-keterbatasan yang ada (Husen, 2011:149).

Kompleksitas penjadwalan proyek sangat dipengaruhi oleh faktor berikut (Husen, 2011:150):

1. Sasaran dan tujuan proyek.
2. Keterkaitan dengan proyek lain agar terintegrasi dengan *master schedule*.
3. Dana yang diperlukan dan dana yang tersedia.
4. Waktu yang diperlukan, waktu yang tersedia, serta perkiraan waktu yang hilang dan hari-hari libur.
5. Susunan dan jumlah kegiatan proyek serta keterkaitan di antaranya.
6. Kerja lembur dan pembagian *shift* kerja untuk mempercepat proyek.
7. Sumber daya yang diperlukan dan sumber daya yang tersedia.
8. Keahlian tenaga kerja dan kecepatan mengerjakan tugas.

Perhitungan Biaya Operator Sebelum Optimasi

Langkah menghitung biaya operator sebelum optimasi sebagai berikut.

1. Menghitung harga satuan upah operator menggunakan **Persamaan 7** (Permen PUPR No.28 Tahun 2016:876).

$$\text{Harga upah} = \text{Koef. O} \times \text{Harga satuan} \quad (7)$$
2. Menghitung biaya operator alat berat per pekerjaan menggunakan **Persamaan 8** (Permen PUPR No.28 Tahun 2016).

$$\text{Biaya operator} = \text{Harga upah} \times V \quad (8)$$

Keterangan:

V : Volume pekerjaan

Penentuan Biaya Penggunaan Operator

Biaya penggunaan operator yang terdiri dari biaya *hiring*, *firing* dan mempertahankan operator, yang nantinya akan dipakai untuk menentukan persamaan rekursif. Langkah-langkah menghitung biaya penggunaan operator sebagai berikut.

1. Menghitung biaya *hiring* menggunakan **Persamaan 9** (Warist, 2016).

$$C_2 = O_w \times (\text{Biaya transport} + \text{Biaya perantara}) \quad (9)$$

Keterangan:

C₂ : Biaya yang dikeluarkan saat ada tenaga yang ditambah

O_w : Jumlah operator yang ditambah per minggu

2. Menghitung biaya *firing* menggunakan **Persamaan 10** (Undang-Undang No.13 Tahun 2003 Tentang Ketenagakerjaan Pasal 164 ayat 3).

$$C_3 = O_w \times (U_P + U_{PMK} + U_{PH}) \quad (10)$$

Keterangan:

C₃ : Biaya yang dikeluarkan saat ada tenaga yang dikurangi

O_w : Jumlah operator yang dikurangi per minggu

U_P : Uang pesangon

U_{PMK} : Uang penghargaan

U_{PH} : Uang penggantian hak

Dalam Undang-Undang No.13 Tahun 2003 tentang ketenagakerjaan, ada beberapa jenis pemutusan hubungan kerja (PHK) yang seharusnya mendapatkan tambahan biaya kompensasi. Jenis pemutusan hubungan kerja karena alasan efisiensi, yang merupakan jenis pemutusan hubungan kerja yang banyak terjadi pada proyek konstruksi. Bagi pekerja yang mengakhiri hubungan kerja tersebut, maka pekerja tersebut berhak atas uang pesangon (UP), uang penghargaan masa kerja (UPMK), dan uang penggantian hak (UPH). Jenis kompensasi dengan masing-masing alasan PHK ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Tabel Kompensasi dengan Alasan PHK.

Alasan	Kompensasi	Pasal
PHK massal karena perusahaan melakukan efisiensi.	2 kali UP, 1 kali UPMK, dan UPH.	Pasal 164 ayat (3)

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

Berikut uraian beberapa pasal yang mengatur cara perhitungan UP, UPMK, dan UPH:

- a. Perhitungan Uang Pesangon yang terdapat pada UU ketenagakerjaan pasal 156 ayat (2), ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Daftar Uang Pesangon yang Didapat

Masa Kerja	UP Yang Didapat
≤ 1 (satu) tahun	1 (satu) 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 3**.

Tabel 3. Daftar Uang Penghargaan Masa Kerja yang Didapat

Masa Kerja	UPMK Yang Didapat
3 (tiga) tahun atau lebih, tetapi kurang dari 6 (enam) tahun	2 (dua) 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), berupa biaya atau ongkos untuk pulang pekerja/buruh dan keluarganya ke tempat dimana pekerja/buruh diterima bekerja.

3. Menghitung biaya mempertahankan menggunakan **Persamaan 11** (Warist, 2016).

$$C_1 = n \times O_w \times (\text{Harga satuan} + \text{Biaya fasilitas}) \quad (11)$$

Keterangan:

C_1 : Biaya yang dikeluarkan saat mempertahankan tenaga

n : Jumlah hari

O_w : Jumlah operator yang dipertahankan per minggu

Harga satuan yang dimaksud berdasarkan pada Peraturan Walikota Semarang No.35 Tahun 2015. Dan untuk biaya fasilitas, terdiri dari barak; asuransi; listrik dan air; serta p3k (Warist, 2016:26).

Dynamic Programming

Menurut Taha (1996:332) *Dynamic Programming* merupakan prosedur matematis yang dirancang untuk memperbaiki efisiensi perhitungan masalah pemrograman matematis tertentu dengan menguraikan menjadi bagian-bagian masalah yang lebih kecil dan karena itu lebih sederhana dalam perhitungan. Pemrograman dinamis umumnya menjawab masalah dalam tahap-tahap, dengan setiap tahap meliputi tepat satu variabel optimasi. Perhitungan di tahap yang berbeda-beda dihubungkan melalui perhitungan rekursif dengan cara yang menghasilkan pemecahan optimal yang mungkin bagi seluruh masalah.

Bila ditinjau dari pengertiannya pendekatan program dinamis berdasarkan pada prinsip optimalisasi, yaitu suatu kebijakan optimal mempunyai sifat bahwa apa pun keadaan dan keputusan awal, keputusan berikutnya harus membentuk suatu kebijakan optimal dengan memperhatikan keadaan dari hasil keputusan pertama. Prinsip ini mengartikan bahwa dapat dibolehkan mengambil keputusan yang layak bagi tahap sebelumnya yang masih tersisa tanpa melihat kembali keputusan-keputusan terdahulu dan dalam rangkaian keputusan yang telah diambil, hasil dari masing-masing tahap tergantung pada hasil keputusan sebelumnya dalam rangkaian (Bellman dalam Siagian, 1987:238).

Hubungan Rekursif

Prosedur rekursif yang digunakan dalam kajian ini adalah perhitungan dari belakang ke depan atau perhitungan mundur (*backward recursion equation*) (Siagian, 1987:246), dengan urutan perhitungan seperti pada **Persamaan 12**.

$$F_n \rightarrow F_{n-1} \rightarrow F_{n-2} \rightarrow \dots \rightarrow F_1 \quad (12)$$

Keterangan:

F_n : merupakan fungsi awal untuk fungsi rekursif

F_1 : merupakan fungsi akhir

Menentukan Persamaan Rekursif

Dalam persamaan rekursif optimalisasi tenaga kerja dilakukan pada setiap tahap, sehingga dengan proses

optimalisasi akan diperoleh suatu keputusan untuk tiap-tiap tahap berupa jumlah tenaga kerja optimal yang harus ada dalam tahap tersebut. Prinsip program dinamis adalah memecahkan masalah ke dalam tahap-tahap (*stage*), hubungan satu tahap dengan tahap lainnya dinyatakan dengan *state* (Taha, 1996:356).

Keputusan yang ada dalam tiap tahap akan memberikan kontribusi terhadap biaya menambah dan biaya mengurangi tenaga kerja (Warist, 2016:40).

Komponen-komponen yang harus ada dalam persamaan rekursif yaitu (Taha, 1996:357):

1. Tahap i menunjukkan periode ke- i yang ditinjau.
2. *State* Y_{i-1} pada tahap i adalah jumlah tenaga kerja yang ada pada akhir tahap $i-1$.
3. Alternatif Y_i (variabel keputusan) merupakan jumlah tenaga kerja yang ada pada periode ke- i .
4. C_1 adalah variabel 1, jika Y_i melebihi b_i .
5. C_2 adalah variabel 2, jika Y_i melebihi Y_{i-1} .
6. b_i menunjukkan jumlah tenaga kerja minimum yang harus ada pada tahap ke- i .

Jadi persamaan rekursif mundur untuk tahap i dapat dilihat pada persamaan berikut (Taha, 1996:357):

1. Berikut **Persamaan 13**:

$$F_i(Y_{i-1}) = \{C_1*(Y_i - b_i) + C_2*(Y_i - Y_{(i-1)})\} \quad (13)$$

2. Dan berikut **Persamaan 14**:

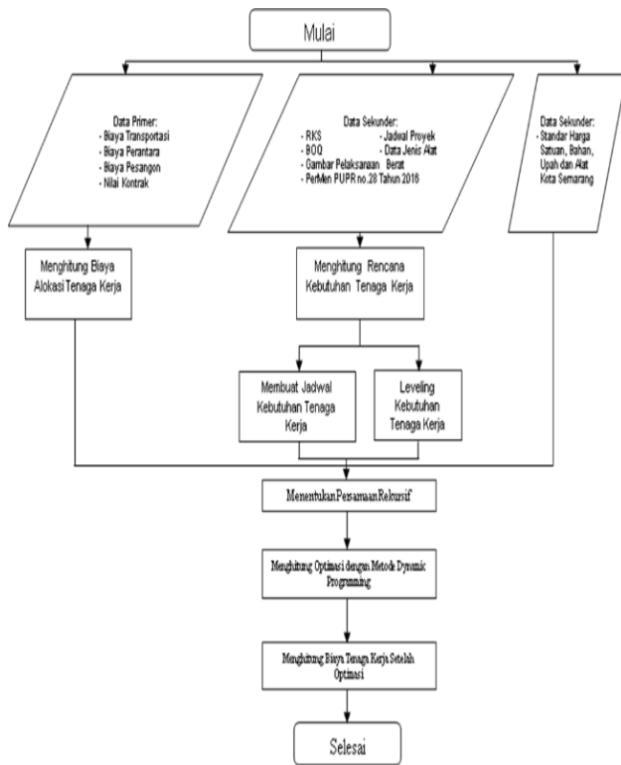
$$F_i(Y_{i-1}) = \{C_1*(Y_i - b_i) + C_2*(Y_i - Y_{(i-1)}) + F_{(i-1)}(Y_{(i-2)})\} \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (14)$$

2. METODE

Diagram alir dalam tahapan menghitung optimasi kebutuhan operator pada proyek Apartemen X, terdapat pada **Gambar 1**. Adanya permasalahan kebutuhan operator yang berfluktuasi, menyebabkan perlu adanya penyelesaian masalah. Dengan mengoptimasi kebutuhan operator akan mengurangi biaya operator yang dibutuhkan.

Diperlukan pengumpulan data baik primer maupun sekunder untuk mendukung kebutuhan operator, untuk dilakukan optimasi operator. Untuk data primer yang diperoleh selanjutnya dianalisis untuk perhitungan biaya menambah, mengurangi dan mempertahankan operator pada persamaan rekursif. Setelah itu, data sekunder yang diperoleh kemudian dianalisis untuk perhitungan analisis satuan pekerjaan, sehingga diperoleh perencanaan kebutuhan operator. Kemudian *dileveling* kebutuhan operator agar tidak terlalu naik turun (fluktuasi). Data ini juga dipakai untuk menghitung biaya alokasi tenaga kerja.

Setelah kebutuhan operator *dileveling*, diperlukan perhitungan biaya kebutuhan operator sebelum dilakukan optimasi. Optimasi dilakukan untuk mengurangi atau meminimumkan kebutuhan operator dan biaya yang dikeluarkan pada Apartemen X.



Gambar 1. Diagram Alir Optimasi Tenaga Kerja
Sumber: Hasil Perhitungan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN Produksi Alat Berat

Dalam proyek Apartemen X alat-alat berat yang dipakai memiliki masing-masing produksi alat berat. Produksi alat berat dicari menggunakan **Persamaan 1; 2; 3**, dengan hasil ditunjukkan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Produksi Alat-Alat Berat

Item Pekerjaan	Jenis Alat Berat	Produksi Alat
Pengeboran	Hydraulic Drilling Rig	93,275 m ³ /hari
	Crawler Crane	436,233 m ² /hari
Pembesian	Crawler Crane	28449,91 kg/hari
Pengecoran	Crawler Crane	97,20 m/hari
	Truck Mixer	39,918 m ³ /hari
	Tower Crane	54 m ³ /hari
Galian tanah	Excavator	468,728 m ³ /hari
	Dump Truck	92,738 m ³ /hari

Sumber: Hasil Perhitungan

Koefisien Operator

Nilai koefisien operator berbeda-beda, tergantung dari jenis alat berat yang digunakan untuk menentukan item pekerjaan tersebut. Koefisien dihitung menggunakan

Persamaan 4, dengan hasil yang ditunjukkan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Koefisien Operator Per Item Pekerjaan

Item Pekerjaan	Alat Yang Menentukan	Koefisien Operator
Pemasangan Casing	Crawler Crane	0,0023 OH/m ²
Pengeboran(A)	Hydraulic Drilling Rig	0,0107 OH/m ³
Penulangan(A)	Crawler Crane	0,00004 OH/kg
Pengecoran(A)	Truck Mixer	0,0251 OH/m ³
Pengeboran(B)	Hydraulic Drilling Rig	0,0215 OH/m ³
Penulangan(B)	Crawler Crane	0,0005 OH/kg
Pengecoran(B)	Truck Mixer	0,0752 OH/m ³
Pengecoran	Tower Crane	0,0251 OH/m ³
Galian tanah	Excavator	0,0064 OH/m ³

Sumber: Hasil Perhitungan

Kebutuhan Operator Sebelum Optimasi

Kebutuhan operator sebelum optimasi diperoleh dari jumlah kebutuhan operator tiap minggu (seluruh item pekerjaan). Dan kebutuhan operator per minggu, diperoleh dengan menjumlahkan operator per hari (satu minggu waktu kerja). Untuk menghitung kebutuhan operator per hari, diperoleh dari volume (tiap *item* pekerjaan) dikalikan koefisien operator, dan dibagi dengan durasi pekerjaan yang sesuai pada **Persamaan 5 & 6** dengan hasil yang di pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Kebutuhan Operator Sebelum Optimasi (sebelum leveling)

Minggu Ke- n	Jumlah
5 – 21	1192
22 – 38	937
39 – 55	218
56 – 72	206
73 – 89	81
90 - 105	69
106 - 122	72
123 – 128	25
Total	2800

Sumber: Hasil Perhitungan

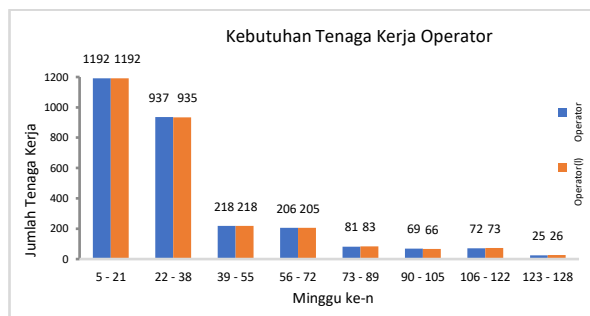
Kemudian kebutuhan operator tiap minggu yang didapat di *leveling*, yang hasilnya ditunjukkan pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Kebutuhan Operator Sebelum Optimasi (sesudah di leveling)

Minggu Ke- n	Jumlah
5 – 21	1192
22 – 38	935
39 – 55	218
56 – 72	205
73 – 89	83
90 - 105	66
106 - 122	73
123 – 128	26
Total	2798

Sumber: Hasil Perhitungan

Leveling dalam hal ini tidak menambah atau mengurangi waktu pelaksanaan yang tersedia, melainkan hanya mengubah durasi pekerjaan pada minggu tertentu ke minggu lainnya. Diagram histogram kebutuhan operator sebelum optimasi, sebelum dan sesudah di leveling ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Histogram Operator Setelah Leveling
Sumber: Hasil Perhitungan

Perhitungan Biaya Operator Sebelum Optimasi

Biaya operator sebelum optimasi, diperoleh dengan menjumlahkan biaya operator tiap item pekerjaan. Selain itu, biaya operator dihitung dari koefisien operator dikalikan dengan harga satuan upah operator, dikalikan volume pekerjaan sesuai Persamaan 7 & 8.

Hasil total biaya operator sebelum optimasi sebesar Rp446.082.259,0, ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Biaya Operator Sebelum Optimasi

Keterangan	Simbol	Biaya Operator (Rp)
Dinding Penahan	A	53,204,088
Pondasi	B	330,934,907
Basement 2	C	2,818,852
Basement 1	D	7,736,710
Lantai Dasar	E	8,662,715
Lantai 2	F	6,783,514
Lantai 3	G	7,072,121
Lantai 4	H	7,710,773
Lantai 5	I	1,263,626
Lantai 6	J	1,263,626
Lantai 7	K	1,213,863
Lantai 8	L	1,213,863
Lantai 9	M	1,213,863

Keterangan	Simbol	Biaya Operator (Rp)
Lantai 10	N	1,164,605
Lantai 11	O	1,164,605
Lantai 12	P	1,164,605
Lantai 13	Q	1,164,605
Lantai 14	R	1,127,219
Lantai 15	S	1,127,219
Lantai 16	T	1,127,219
Lantai 17	U	1,127,219
Lantai 18	V	1,089,834
Lantai 19	W	1,089,834
Lantai 20	X	1,089,834
Lantai 21	Y	1,125,893
Roof Top	Z	1,427,048
Total		446,082,259

Sumber: Hasil Perhitungan

Persamaan Rekursif

Persamaan Rekursif yang digunakan adalah model perhitungan mundur. Jadi rumus untuk tahap i dapat dilihat pada Persamaan 15 & 16, sebagai berikut.

- Persamaan Rekursif Mundur untuk $i = n$ (saat awal perhitungan)

$$F_i(Y_{i-1}) = \{C1*(Y_i - b_i) + C2*(Y_i - Y_{(i-1)}) + C3*(Y_{(i-1)} - Y_i)\}; \text{ untuk } i = n \quad (15)$$
- Persamaan Rekursif Mundur untuk $i = 1, 2, 3, 4, \dots, n-1$ (setelah perhitungan awal)

$$F_i(Y_{i-1}) = \{C1*(Y_i - b_i) + C2*(Y_i - Y_{(i-1)}) + C3*(Y_{(i-1)} - Y_i) + F_{(i-1)}(Y_{(i-2)})\}; \text{ untuk } i = 1, 2, 3, 4, \dots, n-1 \quad (16)$$

Keterangan:

i : Tahap menunjukan periode ke- i yang ditinjau.

Y_{i-1} : State pada tahap i adalah jumlah tenaga kerja yang ada pada akhir tahap $i-1$.

Y_i : Alternatif (variabel keputusan) merupakan jumlah tenaga kerja yang ada pada periode ke- i .

$C1$: biaya mempertahankan, jika Y_i melebihi b_i .

$C2$: biaya yang dikeluarkan jika menambah tenaga kerja baru ($Y_i > Y_{i-1}$).

$C3$: biaya yang dikeluarkan jika mengurangi tenaga kerja ($Y_{i-1} - Y_i$).

b_i : menunjukkan jumlah tenaga kerja minimum yang harus ada pada tahap ke- i .

Dimana perhitungan dimulai dari tahap terakhir (minggu terakhir proyek), menuju tahap pertama (minggu awal proyek). Serta memperhitungkan biaya-biaya tambahan berupa biaya menambah, mengurangi, dan mempertahankan operator.

- Biaya mempertahankan (C1)

Menghitung biaya mempertahankan operator tercantum pada Persamaan 11. Hasil biaya mempertahankan operator sebesar Rp175.572,53 orang/hari.
- Biaya menambah (C2)

Menghitung biaya menambah operator, terdapat biaya transpor dan biaya perantara tenaga yang tercantum pada Persamaan 9. Dengan hasil sebesar Rp66.667,0 per orang tiap ada penambahan operator.
- Biaya mengurangi (C3)

Menghitung biaya mengurangi operator terdapat biaya kompensasi sesuai Undang-undang No.13 Tahun 2003 tentang ketenagakerjaan, yang terdiri atas uang pesangon, uang penghargaan, dan uang penggantian hak tercantum pada **Persamaan 10**. Dengan hasil sebesar Rp221.667,0 per orang tiap ada pengurangan operator.

Berikut tabel untuk persamaan rekursif tiap minggu tercantum pada **Tabel 9**.

Keterangan:

R : jumlah tenaga

Tabel 9. Persamaan Rekursif Untuk Operator

Minggu	Hari	C ₁ xR	C ₂ xR	C ₃ xR
Ke-n	Kerja	(Rp)	(Rp)	(Rp)
5	1	175,573	66,667	221,667
6-10	6	1,053,435	66,667	221,667
11	5	877,863	66,667	221,667
12-16	6	1,053,435	66,667	221,667
17-18	5	877,863	66,667	221,667
19-43	6	1,053,435	66,667	221,667
44-45	5	877,863	66,667	221,667
46-56	6	1,053,435	66,667	221,667
57	5	877,863	66,667	221,667
58-62	6	1,053,435	66,667	221,667
63	5	877,863	66,667	221,667
64-69	6	1,053,435	66,667	221,667
70	4	702,290	66,667	221,667
71-95	6	1,053,435	66,667	221,667
96-97	5	877,863	66,667	221,667
98-100	6	1,053,435	66,667	221,667
101	5	877,863	66,667	221,667
102-108	6	1,053,435	66,667	221,667
109	5	877,863	66,667	221,667
110-114	6	1,053,435	66,667	221,667
115	5	877,863	66,667	221,667
116-121	6	1,053,435	66,667	221,667
122	3	526,718	66,667	221,667
123-128	6	1,053,435	66,667	221,667

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel Kemungkinan Yi

Tabel kemungkinan Yi adalah jumlah tenaga yang mungkin menjadi nilai Yi yang optimal. Berikut tabel kemungkinan Yi untuk operator pada **Tabel 10**.

Keterangan:

bi : jumlah tenaga yang harus ada

Yi: nilai kemungkinan jumlah tenaga

Tabel 10. Tabel Kemungkinan Yi Operator

Minggu	Periode	Jmlh Operator	
Ke-n	Ke-n	bi	Yi
5	1	5	5 – 20
6 – 10	2	20	20 – 61
11	3	61	61 – 106
12 – 16	4	106	106 – 106
17 – 18	5	89	89 – 106
19 – 23	6	106	106 – 106
24 – 27	7	81	81 – 89
28 – 37	8	38	38 – 89
38	9	19	19 – 89
39 – 41	10	0	0 – 89
42	11	89	89 – 89
43	12	30	30 – 30

Minggu	Periode	Jmlh Operator	
		bi	Yi
44 – 46	13	0	0 – 28
47 – 48	14	12	12 – 28
49 – 51	15	10	10 – 28
52 – 53	16	5	5 – 28
54	17	13	13 – 28
55	18	22	22 – 28
56	19	0	0 – 28
57 - 59	20	7	7 – 28
60	21	28	28 – 28
61 – 65	22	12	12 – 20
66	23	9	9 – 20
67 – 69	24	15	15 – 20
70	25	2	2 – 20
71 – 72	26	20	20 – 20
73 – 74	27	8	8 – 8
75 – 78	28	5	5 – 6
79	29	3	3 – 6
80 – 81	30	5	5 – 6
82	31	4	4 – 6
83	32	5	5 – 6
84	33	4	4 – 6
85	34	3	3 – 6
86	35	5	5 – 6
87	36	4	4 – 6
88	37	3	3 – 6
89	38	6	6 – 6
90	39	4	4 – 6
91	40	3	3 – 6
92	41	6	6 – 6
93	42	4	4 – 6
94	43	2	2 – 6
95 – 96	44	6	6 – 6
97	45	3	3 – 6
98 – 99	46	4	4 – 6
100	47	2	2 – 6
101 – 102	48	6	6 – 6
103	49	2	2 – 6
104 – 105	50	4	4 – 6
106	51	2	2 – 6
107 – 108	52	6	6 – 6
109	53	2	2 – 6
110	54	6	6 – 6
111	55	5	5 – 6
112	56	2	2 – 6
113 – 114	57	6	6 – 6
115	58	2	2 – 6
116	59	6	6 – 6
117	60	5	5 – 6
118	61	3	3 – 6
119	62	6	6 – 6
120	63	4	4 – 6
121	64	2	2 – 6
122 - 124	65	4	4 – 6
125 – 126	66	6	6 – 6
127 - 128	67	3	3 – 3

Sumber: Hasil Perhitungan

Perhitungan Biaya Operator Setelah Optimasi

Biaya operator setelah optimasi adalah hasil biaya minimum pada awal minggu proyek, dari perhitungan tabel pemecahan optimum minggu pertama sesuai **Persamaan 15 & 16**. Maka hasil biaya operator sebesar Rp223.773.671,0 dan kebutuhan operator setelah optimasi sebanyak 2798 orang, ditunjukkan tabel pada **Tabel 11**.

Tabel 11. Biaya Operator Setelah Optimasi

Minggu	T. K. Operator	
	Jmlh	Biaya (Rp)
5	5	223,773,671

Minggu Ke- n	T. K. Operator	
	Jmlh	Biaya (Rp)
6-10	20	223,440,336
11	61	223,440,336
12-16	106	223,440,336
17-18	89	223,440,336
19-23	106	215,903,658
24	81	215,903,658
25	81	210,361,983
26	81	204,820,308
27	81	199,278,633
28	38	193,736,958
29	38	184,205,277
30	38	174,673,596
31	38	165,141,915
32	38	155,610,234
33	38	146,078,553
34	38	136,546,872
35	38	127,015,191
36	38	117,483,510
37	38	107,951,829
38	19	98,420,148
39	0	94,208,475
40	0	89,996,802
41	0	85,785,129
42	89	81,573,456
43	30	81,573,456
44	0	68,495,103
45	0	61,845,093
46	0	55,195,083
47-48	12	48,545,073
49-50	10	48,545,073
51	10	47,658,405
52	5	47,215,071
53	5	46,106,736
54	13	44,998,401
55	22	44,998,401
56	0	44,998,401
57-59	7	40,121,727
60	28	40,121,727
61	12	40,121,727
62	12	36,575,055
63	12	33,028,383
64	12	29,481,711
65	12	25,935,039
66	9	22,388,367
67-69	15	21,723,366
70	2	21,723,366
71-72	20	18,841,695
73	8	18,841,695
74	8	16,181,691
75	5	13,521,687
76	5	12,856,686
77	5	12,191,685
78	5	11,526,684
79	3	10,861,683
80-81	5	10,418,349
82	4	10,418,349
83	5	10,196,682
84	4	10,196,682
85	3	9,975,015
86	5	9,753,348
87	4	9,753,348
88	3	9,531,681
89	6	9,310,014
90	4	9,310,014

Minggu Ke- n	T. K. Operator	
	Jmlh	Biaya (Rp)
91	3	8,866,680
92	6	8,645,013
93	4	8,645,013
94	2	8,201,679
95-96	6	7,758,345
97	3	7,758,345
98-99	4	7,093,344
100	2	7,093,344
101-102	6	6,650,010
103	2	6,650,010
104-105	4	5,763,342
106	2	5,763,342
107-108	6	5,320,008
109	2	5,320,008
110	6	4,433,340
111	5	4,443,340
112	2	4,443,340
113-114	6	3,546,672
115	2	3,546,672
116	6	2,881,671
117	5	2,881,671
118	3	2,660,004
119	6	2,216,670
120	4	2,216,670
121	2	1,773,336
122-124	4	1,330,002
125-126	6	1,330,002
127	3	1,330,002
128	3	665,001
Total	2798	

Sumber: Hasil Perhitungan

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pembahasan, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Jumlah rencana kebutuhan operator pada pekerjaan struktur beton Apartemen X sebanyak 2798 orang.
2. Rencana biaya operator pada Apartemen X sebelum optimasi sebesar Rp446.082.259,0.
3. Rencana biaya penggunaan operator yang optimum sebesar Rp223.773.671,0, dengan jumlah operator optimum sebanyak 2798 orang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hadi, Sofwan. (2018). *Alat Berat dan PTM*, Deepublish dan Politeknik Banjarmasin, Banjarmasin
- [2] <https://ilmusipil.com/cara-menghitung-koefisien-analisa-harga-satuan-bangunan> (diakses pada tanggal 15 Januari 2020 pukul 03.12)
- [3] Husen, Ir. Abrar. (2011). *Manajemen Proyek*, Andi, Yogyakarta
- [4] Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Nomor 28/PRT/M/2016. (2016). *Analisis Harga Satuan Pekerjaan Umum*, Jakarta
- [5] Peraturan Walikota Semarang No.35 Tahun 2015. (2015). *Standarisasi Harga Satuan Bahan Bangunan, Upah, Dan Analisa Pekerjaan Untuk Kegiatan*

Pembangunan Pemerintah Kota Semarang Tahun Anggaran 2016, Semarang

- [6] Siagian, P. (1987). *Penelitian Operasional: Teknik dan Praktek*, Universitas Indonesia, Jakarta
- [7] Taha, Hamdy A. (1996). *Riset Operasi Suatu Pengantar Edisi Kedua*, Binarupa Aksara, Jakarta
- [8] Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 13. (2003). *Ketenagakerjaan*, Jakarta
- [9] Warist, Rafdi K. (2016). *Optimasi Penggunaan Tenaga Kerja Proyek Pembangunan Gedung Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang dengan Metode Dynamic Programming*, Universitas Politeknik Negeri Malang, Malang