

MINIMALISASI BIAYA PENYEDIAAN *FRAME SCAFFOLDING* DENGAN METODE *LINEAR PROGRAMMING* PADA PROYEK X

Verian Fernando Christanto¹ dan Iwan B. Santoso²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
verian.325160104@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
iwsantoso@hotmail.com

Masuk: 17-01-2020, revisi: 10-02-2020, diterima untuk diterbitkan: 26-02-2020

ABSTRACT

In the process of casting, we need a temporary structure that functions as a support or called scaffolding. Scaffolding frame is one type of modern scaffolding that is very commonly used today in high rise building construction. The amount of frame scaffolding needs on a project is not small so the amount of supply of frame scaffolding material can affect cost control on a project. In this study, the linear programming method is used to minimize the cost of providing frame scaffolding material in Project X. The study uses various combinations of frame scaffolding component sizes in casting beams and floor slabs with constraints or problem constraints such as storage of frame scaffolding components, load capacity the maximum that can be held by frame scaffolding, the supply of material quantities, and the casting cycle. By using the linear programming method, a cost savings of 4.3% can be made from the total cost of providing frame scaffolding in Project X if frame scaffolding material is provided with a volume of 3 floors, then 20.23% if frame scaffolding material is provided as much volume 2.5 floor, and 28.7% if frame scaffolding material is provided as much as the minimum floor volume.

Keywords: linear programming; frame scaffolding, cost; amount of material

ABSTRAK

Dalam proses pengecoran, dibutuhkan struktur sementara yang berfungsi sebagai penyangga atau yang disebut perancah. Saat ini, *frame scaffolding* merupakan salah satu jenis perancah modern yang sangat umum digunakan pada konstruksi gedung bertingkat. Jumlah kebutuhan *frame scaffolding* pada suatu proyek tidaklah sedikit sehingga jumlah penyediaan material *frame scaffolding* ini dapat mempengaruhi pengendalian biaya pada suatu proyek. Pada penelitian ini, digunakan metode *linear programming* untuk dapat meminimalisasi biaya penyediaan material *frame scaffolding* pada Proyek X. Penelitian menggunakan berbagai kombinasi ukuran komponen *frame scaffolding* pada pengecoran balok dan pelat lantai dengan kendala berupa tempat penyimpanan komponen *frame scaffolding*, kapasitas beban maksimum yang dapat ditahan oleh *frame scaffolding*, penyediaan jumlah material, dan siklus pengecoran. Dengan menggunakan metode *linear programming*, dapat dilakukan penghematan biaya sebesar 4,3% dari total biaya penyediaan *frame scaffolding* pada Proyek X jika material *frame scaffolding* disediakan sebanyak volume 3 (tiga) lantai, dapat dilakukan penghematan sebesar 20,23% jika material *frame scaffolding* disediakan sebanyak volume 2,5 (dua setengah lantai), dan sebesar 28,7% jika material *frame scaffolding* disediakan sebanyak volume lantai yang paling minimal. Selain itu, dengan menggunakan metode *linear programming* dapat diketahui jumlah material *frame scaffolding* yang paling baik sesuai dengan kondisi-kondisi di lapangan.

Kata kunci: *linear programming; frame scaffolding; biaya; jumlah material*

1. PENDAHULUAN

Beberapa tahun terakhir, konstruksi pembangunan dan pengembangan di berbagai sektor wilayah di Indonesia semakin meningkat dengan terlihat bertambahnya infrastruktur seperti gedung, jalan raya, jembatan, dan pembangunan-pembangunan lainnya. Dalam bidang teknik sipil secara umum, pembangunan di bidang struktur tidak lepas dari penggunaan beton sebagai material struktur, seperti dalam pembuatan balok, kolom dan plat lantai.

Dalam proses pengecoran, dibutuhkan struktur sementara yang berfungsi sebagai penyangga atau yang disebut perancah. Dalam konstruksi gedung-gedung tinggi, perancah konvensional sudah tidak digunakan lagi karena

perancah konvensional (bambu) tidak efisien, maka dari itu, digunakan perancah yang modern yaitu *scaffolding*. Pemilihan jenis perancah ini sendiri juga didasarkan beberapa faktor antara lain biaya, efisiensi waktu bongkar-pasang, dan ketinggian bangunan. *Scaffolding* terdiri dari beberapa bagian dengan ukuran dan dimensi yang berbeda-beda. Bahan utama dari *scaffolding* adalah pipa-pipa besi yang umumnya berdiameter 42,5 mm yang dibentuk sedemikian rupa sehingga mempunyai kekuatan untuk menopang beban yang berada di atasnya. Setiap ukuran dan dimensi yang berbeda akan berbeda juga harganya.

Jumlah *scaffolding* yang diperlukan dalam konstruksi gedung bertingkat tidaklah sedikit. Jumlah *scaffolding* yang digunakan dalam proyek konstruksi ini tentunya akan berpengaruh pada pengendalian biaya suatu proyek konstruksi. Untuk menghasilkan keuntungan yang besar, diperlukan minimalisasi biaya di berbagai sektor salah satunya dalam penggunaan *frame scaffolding*. Hal ini diperlukan agar alat tersebut dapat digunakan secara maksimal sehingga pekerjaan dapat diselesaikan tepat waktu dengan biaya sehemat mungkin. Pelaksanaan suatu proyek konstruksi tidak akan lepas dari kendala atau masalah, baik kendala yang sudah diperhitungkan maupun di luar perhitungan perencana. Tujuan pemilihan ukuran dan dimensi *frame scaffolding* yang tepat serta jumlah yang dibutuhkan diharapkan dapat membantu menyelesaikan masalah tersebut.

Metode *linear programming* adalah metode perhitungan matematika yang tepat untuk memecahkan permasalahan yang rumit ini karena dapat berfungsi sebagai alat pengambilan keputusan yang membantu perusahaan untuk mengkombinasikan variasi produk yang ada berdasarkan keterbatasan sumber daya yang dimiliki perusahaan.

Berdasarkan pembahasan sebelumnya, masalah yang akan dijadikan bahan penelitian yaitu menentukan jumlah serta memilih ukuran dan dimensi *scaffolding* yang tepat untuk meminimalkan biaya penyediaan *scaffolding* dalam suatu proyek konstruksi gedung bertingkat tanpa mengabaikan kapasitas tiap frame dan beban yang dipikul sehingga siklus pengecoran dalam proyek tersebut terpenuhi dengan jumlah *scaffolding* yang disediakan.

Berdasarkan pembahasan dari latar belakang dan identifikasi masalah pada bagian sebelumnya, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah

1. Berapa jumlah *frame scaffolding* yang optimal pada konstruksi gedung bertingkat pada Proyek X?
2. Berapa volume penyediaan *frame scaffolding* agar 1 (satu) siklus pengecoran balok dan pelat lantai terpenuhi?
3. Berapa penghematan biaya penyediaan *frame scaffolding* yang dapat dilakukan pada konstruksi gedung bertingkat pada Proyek X dengan metode *linear programming*?
4. Berapa total biaya yang paling minimal untuk penyediaan *frame scaffolding* pada Proyek X menggunakan metode *linear programming*?

Berdasarkan pembahasan dari latar belakang dan rumusan masalah pada bagian sebelumnya, maka tujuan dari penelitian ini adalah

1. Membuat pemodelan *linear programming* untuk dapat menentukan jumlah *frame scaffolding* yang dibutuhkan dalam konstruksi gedung bertingkat di Proyek X.
2. Menganalisis hasil pemodelan *linear programming* dengan menggunakan program LINDO dengan tujuan meminimalkan biaya dalam penyediaan jumlah *frame scaffolding* dalam konstruksi gedung bertingkat di Proyek X berdasarkan volume penyediaan *frame scaffolding*.
3. Mengetahui total biaya yang dapat dihemat dalam penyediaan jumlah *frame scaffolding* pada Proyek X menggunakan metode *linear programming*.
4. Mendapatkan biaya paling minimal untuk menyediakan *frame scaffolding* pada Proyek X.

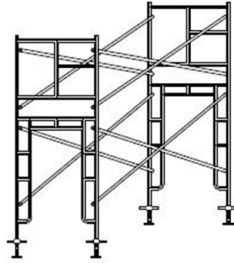
2. TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian *Scaffolding*

Dalam konstruksi gedung bertingkat, *scaffolding* merupakan komponen yang dibutuhkan untuk menjadi penyangga mulai dari proses persiapan hingga proses pengecoran selesai. *Scaffolding* merupakan salah satu jenis perancah modern menggantikan perancah tradisional yaitu bambu dengan memiliki berbagai kelebihan dibandingkan bambu. *Scaffolding* sendiri terdiri dari beberapa macam salah satunya adalah *frame scaffolding* yang terbentuk dari berbagai komponen yang akan dibahas pada bagian selanjutnya.

Seperti pada Gambar 1 di bawah ini, *Scaffolding* didefinisikan sebagai sebuah struktur, kerangka, *suspended scaffold*, atau *boatswain's chair*, yang bersifat sementara, digunakan untuk mendukung atau melindungi pekerja yang terlibat dalam atau sehubungan dengan pekerjaan konstruksi, dengan tujuan untuk melakukan suatu pekerjaan atau sebagai dukungan bahan yang digunakan yang berhubungan dengan pekerjaan tersebut; termasuk

setiap perancah yang dibangun semestinya dan tidak dibongkar, baik yang sedang atau tidak digunakan sebagai perancah; dan juga termasuk papan, pengikat, pengencang, pemasangan atau perangkat yang digunakan yang berhubungan dengan konstruksi, pemasangan, atau penggunaan perancah (Department of Labour Te Tari Mahi, 1995).



Gambar 1. Rangkaian *Scaffolding* (Sumber: Nata dan Sumargo, 2006)

Bagian-bagian *Frame Scaffolding*

Bagian *frame scaffolding* dari *main frame*, *ladder frame*, *cross brace*, *U-Head*, *jack base*, dan *joint pin*. *Main frame* merupakan rangka utama pada rangkaian sebuah scaffolding. *Ladder frame* digunakan untuk menyambung agar lebih tinggi dan kokoh. *Cross brace* merupakan bagian yang digunakan untuk menyambung antar *main frame* dengan posisi silang. *U-head* berfungsi untuk menopang batang kayu dan bisa disetel ketinggiannya. *Jack base* berfungsi untuk menopang beban-beban saat pelaksanaan pekerjaan dan bisa disetel ketinggiannya. *Joint pin* merupakan penghubung antara *main frame* dengan *main frame* yang lain yang disusun di atasnya. Masing-masing bagian tersebut memiliki ukuran dan spesifikasi yang dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Spesifikasi Bagian *Frame Scaffolding*

Item	Ukuran (m)	Berat (kg)
<i>Main Frame</i>	1.5	10
	1.7	11.2
	1.9	12.5
<i>Ladder Frame</i>	0.5	5
	0.9	6.5
	1.2	8
<i>Cross Brace</i>	2.2	3
	2.05	2.5
	1.93	2.3
	1.85	2.1
<i>U-Head</i>	0.6	5
<i>Jack Base</i>	0.6	5
<i>Joint Pin</i>		0.3

Pembebanan pada *Scaffolding*

Menurut Nata dan Sumargo (2006), selama proses pengecoran, *scaffolding* akan menerima berbagai beban. Beban-beban tersebut harus diperhitungkan terlebih dahulu agar *scaffolding* mampu menahan beban selama proses pengecoran. Beban-beban yang diperhitungkan tersebut adalah beban vertikal, beban tambahan (campuran beton), beban getaran, beban kejut, dan beban horisontal. Pada komponen *main frame*, reduksi kekuatan tergantung posisi penempatan beban di atas frame. Berikut merupakan gambar reduksi kekuatan pada *main frame*.

Point of Load						
Max load / frame	10 ton	9,1 ton	7,5 ton	5 ton	3 ton	2,25 ton
Allowable load	5 ton	3,5 ton	3 ton	2 ton	1,2 ton	1 ton

Gambar 2. Reduksi Kekuatan pada *Frame* (Sumber: Nata dan Sumargo, 2006)

Pemrograman Linier

Pemrograman linier merupakan teknik untuk menentukan jadwal yang optimal, seperti memaksimalkan laba atau meminimalkan biaya dari kegiatan yang saling tergantung berhubungan dengan sumber daya yang tersedia. Pemrograman hanyalah kata lain untuk “perencanaan” dan mengacu pada proses menentukan atau memilih rencana pada tindakan tertentu dari beberapa alternatif (Islam, 2008).

Bentuk standar pemrograman linier adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 &\text{Minimize (or Maximize)} && Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \\
 &\text{Subject to} && a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1 \\
 & && a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2 \\
 & && a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m \\
 &\text{and} && x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0.
 \end{aligned}$$

Dimana b_i , c_i , dan a_{ij} adalah konstanta nyata yang tetap, dan x_i adalah bilangan real. Luenberger selalu menganggap bahwa setiap persamaan telah dikalikan dengan minus kesatuan, jika perlu, sehingga tiap $b_i \geq 0$.

Program LINDO

LINDO (*Linear, Interactive, and Discrete Optimizer*) merupakan suatu alat yang mudah digunakan, tetapi mampu menyelesaikan masalah pemrograman linier, integer, dan kuadratik. Masalah-masalah ini biasa terjadi di bidang bisnis, industri, penelitian, dan pemerintah. Aplikasi khusus LINDO mencakup distribusi produk, pencampuran bahan, produksi dan penjadwalan personil, dan manajemen persediaan.

Untuk keadaan yang lain, LINDO digunakan untuk menyelesaikan program linier industri, kuadratik, dan integer dengan batasan tertentu. Untuk aplikasi komersial, LINDO sering digunakan untuk menyelesaikan masalah dengan puluhan ribu kendala dan ratusan ribu variabel.

Ada tiga dasar menggunakan perangkat lunak LINDO. Untuk masalah kecil hingga menengah, LINDO mudah digunakan secara interaktif dari *keyboard*. Memasuki model cukup mudah dilakukan. Juga dimungkinkan untuk menggunakan LINDO dengan file yang dibuat secara eksternal, yang berisi skrip perintah dan input data, untuk menghasilkan file untuk tujuan pelaporan. Akhirnya, subrutin yang dibuat khusus dapat dihubungkan langsung dengan LINDO untuk membentuk program terintegrasi yang berisi kode Anda dan pustaka optimasi LINDO (LINDO Systems Inc, 2003).

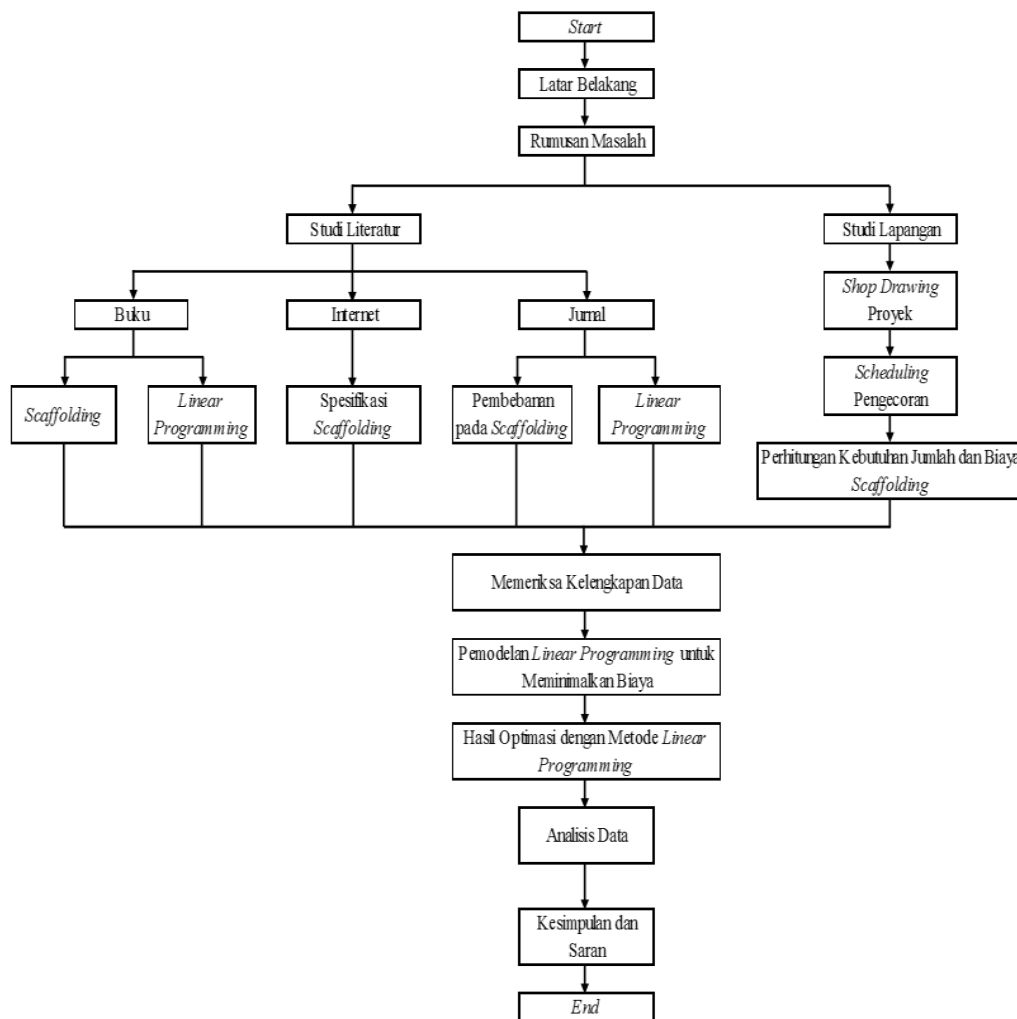
3. METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan Penelitian

1. Mengidentifikasi masalah yang akan diteliti.
2. Mencari literatur-literatur yang berfungsi sebagai bahan referensi dan informasi tambahan.
3. Membuat rumusan masalah berdasarkan identifikasi masalah pada awal penelitian.

4. Menentukan tujuan yang ingin dicapai dari penelitian berdasarkan rumusan masalah yang telah dibuat.
5. Mencari data yang dibutuhkan dengan survei langsung ke perusahaan.
6. Melakukan wawancara dengan pihak perusahaan untuk mendapatkan data dan informasi yang dibutuhkan dalam proses menganalisis data.
7. Melakukan penyesuaian dengan data-data yang didapat dengan data yang dibutuhkan untuk analisis data.
8. Melakukan pengolahan data dengan metode pemrograman linier (*linear programming*) dengan bantuan program LINDO.
9. Melakukan analisis data perhitungan berdasarkan hasil yang diperoleh dari program LINDO.
10. Menarik kesimpulan dan saran berdasarkan hasil analisis data.

Seluruh langkah kerja yang akan dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat melalui alur penelitian yang terdapat pada Gambar 3 berikut.

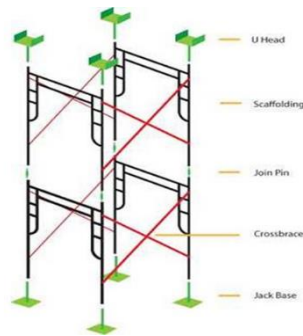


Gambar 3. Alur Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Rangkaian, Harga dan Spesifikasi Komponen Scaffolding

Tiap *supplier* atau penyedia jasa *scaffolding* memiliki harga yang berbeda untuk tiap komponen *scaffolding*. Digunakan data harga dari sebuah *supplier scaffolding* dengan harga rata-rata di antara *supplier-supplier* lainnya. Berikut merupakan tabel harga dan spesifikasi tiap komponen *scaffolding* berdasarkan *supplier scaffolding* Y di Jakarta Barat. Rangkaian satu set *frame scaffolding* dapat dilihat seperti pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Satu Set Rangkaian *Frame Scaffolding* (Sumber: PT Prima Karya Scaffolding, 2019)

Tabel 2. Harga dan Spesifikasi Komponen *Frame Scaffolding* berdasarkan *Supplier Y*

Item	Ukuran (m)	Berat (kg)	Harga
<i>Main Frame</i>	1.5	10	Rp175,000.00
	1.7	11.2	Rp180,000.00
	1.9	12.5	Rp195,000.00
<i>Ladder Frame</i>	0.5	5	Rp118,000.00
	0.9	6.5	Rp121,000.00
	1.2	8	Rp167,000.00
<i>Cross Brace</i>	2.2	3	Rp50,000.00
	2.05	2.5	Rp48,000.00
	1.93	2.3	Rp46,000.00
	1.85	2.1	Rp45,000.00
<i>U-Head</i>	0.6	5	Rp65,000.00
<i>Jack Base</i>	0.6	5	Rp65,000.00
<i>Joint Pin</i>		0.3	Rp7,500.00

Pemodelan *Linear Programming*

1. *Decision Variables*

Decision variables untuk minimalisasi biaya penyediaan *scaffolding* adalah satu set rangkaian *scaffolding* yang disusun sedemikian rupa dengan menggunakan dimensi dan ukuran yang berbeda untuk setiap komponennya berdasarkan kemungkinan-kemungkinan yang terjadi di lapangan. Tabel 3 berikut merupakan contoh satu set rangkaian *frame scaffolding*.

Tabel 3. *Decision Variables Set Frame Scaffolding*

Variabel	Komponen	Jumlah		Harga	
				Harga Satuan	Harga Total
XP1 (Zona 1 Lt 1)	Main Frame 1.5	4	bh	Rp175,000.00	Rp700,000.00
	U-Head 0.6	4	bh	Rp65,000.00	Rp260,000.00
	Jack Base 0.6	4	bh	Rp65,000.00	Rp260,000.00
	Cross Brace 2.2	4	bh	Rp50,000.00	Rp200,000.00
	Joint Pin	4	bh	Rp7,500.00	Rp30,000.00
Total Harga				Rp1,450,000.00	

2. Objective Function

Objective function dari penelitian ini adalah untuk meminimalkan biaya penyediaan *frame scaffolding*. Nilai yang digunakan untuk pemodelan *linear programming* dalam penelitian ini adalah harga 1 (satu) set *frame scaffolding* dalam rupiah untuk balok dan pelat lantai, sehingga *objective function* atau fungsi tujuannya dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut.

Minimize 1450XP1 + 1442XP2 + 1434XP3 + 1440XP4 + 1374XP5 + 1450XP6 + 1442XP7 + 1434XP8 + 1440XP9 + 1374XP10 + 1450XP11 + 1442XP12 + 1434XP13 + 1440XP14 + 1374XP15 + 1450XP16 + 1442XP17 + 1434XP18 + 1440XP19 + 1374XP20 + 1450XP21 + 1442XP22 + 1434XP23 + 1440XP24 + 1374XP25 + 1450XP26 + 1442XP27 + 1434XP28 + 1440XP29 + 1374XP30 + 1519XB1 + 1564XB2 + 1637XB3 + 1629XB4 + 1621XB5 + 1617XB6 + 1519XB7 + 1564XB8 + 1637XB9 + 1629XB10 + 1621XB11 + 1617XB12 + 1519XB13 + 1564XB14 + 1637XB15 + 1629XB16 + 1621XB17 + 1617XB18 + 1519XB19 + 1564XB20 + 1637XB21 + 1629XB22 + 1621XB23 + 1617XB24 + 1519XB25 + 1564XB26 + 1637XB27 + 1629XB28 + 1621XB29 + 1617XB30 + 1519XB31 + 1564XB32 + 1637XB33 + 1629XB34 + 1621XB35 + 1617XB36

Hasil dari pengolahan data dengan program LINDO dikalikan dengan Rp 1.000 karena nilai pada *objective function* dibagi dengan Rp 1.000 untuk penyederhanaan penulisan dan pengolahan data.

3. Constraints

Berdasarkan tempat penyimpanan komponen:

$93,2XP1 + 91,2XP2 + 90,4XP3 + 90,6XP4 + 89,8XP5 + 93,2XP6 + 91,2XP7 + 90,4XP8 + 90,6XP9 + 89,8XP10 + 90,6XB1 + 94,5XB2 + 91,8XB3 + 89,8XB4 + 89XB5 + 88,2XB6 + 90,6XB7 + 94,5XB8 + 91,8XB9 + 89,8XB10 + 89XB11 + 88,2XB12 \leq 15\% \times 150.000 \text{ Kg}$

$93,2XP11 + 91,2XP12 + 90,4XP13 + 90,6XP14 + 89,8XP15 + 93,2XP16 + 91,2XP17 + 90,4XP18 + 90,6XP19 + 89,8XP20 + 90,6XB13 + 94,5XB14 + 91,8XB15 + 89,8XB16 + 89XB17 + 88,2XB18 + 90,6XB19 + 94,5XB20 + 91,8XB21 + 89,8XB22 + 89XB23 + 88,2XB24 \leq 15\% \times 150.000 \text{ Kg}$

$93,2XP21 + 91,2XP22 + 90,4XP23 + 90,6XP24 + 89,8XP25 + 93,2XP26 + 91,2XP27 + 90,4XP28 + 90,6XP29 + 89,8XP30 + 90,6XB25 + 94,5XB26 + 91,8XB27 + 89,8XB28 + 89XB29 + 88,2XB30 + 90,6XB31 + 94,5XB32 + 91,8XB33 + 89,8XB34 + 89XB35 + 88,2XB36 \leq 15\% \times 150.000 \text{ Kg}$

Berdasarkan kapasitas beban maksimum yang dapat ditahan oleh *frame scaffolding*:

$10XP1 + 10XP2 + 10XP3 + 10XP4 + 10XP5 \geq 31,37 \text{ m}^3 \times 2,5 \text{ Ton/m}^3$

$10XP6 + 10XP7 + 10XP8 + 10XP9 + 10XP10 \geq 31,67 \text{ m}^3 \times 2,5 \text{ Ton/m}^3$

$10XP11 + 10XP12 + 10XP13 + 10XP14 + 10XP15 \geq 31,37 \text{ m}^3 \times 2,5 \text{ Ton/m}^3$

$10XP16 + 10XP17 + 10XP18 + 10XP19 + 10XP20 \geq 31,67 \text{ m}^3 \times 2,5 \text{ Ton/m}^3$

$10XP21 + 10XP22 + 10XP23 + 10XP24 + 10XP25 \geq 31,37 \text{ m}^3 \times 2,5 \text{ Ton/m}^3$

$$10XP26 + 10XP27 + 10XP28 + 10XP29 + 10XP30 \geq 31,67 \text{ m}^3 \times 2,5 \text{ Ton/m}^3$$

$$6XB1 + 6XB2 + 6XB3 + 6XB4 + 6XB5 + 6XB6 \geq 31,08 \text{ m}^3 \times 2,5 \text{ Ton/m}^3$$

$$6XB7 + 6XB8 + 6XB9 + 6XB10 + 6XB11 + 6XB12 \geq 28,94 \text{ m}^3 \times 2,5 \text{ Ton/m}^3$$

$$6XB13 + 6XB14 + 6XB15 + 6XB16 + 6XB17 + 6XB18 \geq 31,08 \text{ m}^3 \times 2,5 \text{ Ton/m}^3$$

$$6XB19 + 6XB20 + 6XB21 + 6XB22 + 6XB23 + 6XB24 \geq 28,94 \text{ m}^3 \times 2,5 \text{ Ton/m}^3$$

$$6XB25 + 6XB26 + 6XB27 + 6XB28 + 6XB29 + 6XB30 \geq 31,08 \text{ m}^3 \times 2,5 \text{ Ton/m}^3$$

$$6XB31 + 6XB32 + 6XB33 + 6XB34 + 6XB35 + 6XB36 \geq 28,94 \text{ m}^3 \times 2,5 \text{ Ton/m}^3$$

Berdasarkan jumlah penyediaan material sebanyak volume 3 lantai:

$$6,588XP1 + 5,856XP2 + 5,3436XP3 + 6,588XP4 + 6,588XP5 = 637,76 \text{ m}^3$$

$$6,588XP6 + 5,856XP7 + 5,3436XP8 + 6,588XP9 + 6,588XP10 = 644,04 \text{ m}^3$$

$$6,588XP11 + 5,856XP12 + 5,3436XP13 + 6,588XP14 + 6,588XP15 = 637,76 \text{ m}^3$$

$$6,588XP16 + 5,856XP17 + 5,3436XP18 + 6,588XP19 + 6,588XP20 = 644,04 \text{ m}^3$$

$$6,588XP21 + 5,856XP22 + 5,3436XP23 + 6,588XP24 + 6,588XP25 = 637,76 \text{ m}^3$$

$$6,588XP26 + 5,856XP27 + 5,3436XP28 + 6,588XP29 + 6,588XP30 = 644,04 \text{ m}^3$$

$$5,4XB1 + 5,4XB2 + 5,88XB3 + 5,4XB4 + 4,95XB5 + 4,68XB6 = 147,95 \text{ m}^3$$

$$5,4XB7 + 5,4XB8 + 5,88XB9 + 5,4XB10 + 4,95XB11 + 4,68XB12 = 137,08 \text{ m}^3$$

$$5,4XB13 + 5,4XB14 + 5,88XB15 + 5,4XB16 + 4,95XB17 + 4,68XB18 = 147,95 \text{ m}^3$$

$$5,4XB19 + 5,4XB20 + 5,88XB21 + 5,4XB22 + 4,95XB23 + 4,68XB24 = 137,08 \text{ m}^3$$

$$5,4XB25 + 5,4XB26 + 5,88XB27 + 5,4XB28 + 4,95XB29 + 4,68XB30 = 147,95 \text{ m}^3$$

$$5,4XB31 + 5,4XB32 + 5,88XB33 + 5,4XB34 + 4,95XB35 + 4,68XB36 = 137,08 \text{ m}^3$$

Berdasarkan jumlah penyediaan material sebanyak volume 2,5 lantai:

$$6,588XP1 + 5,856XP2 + 5,3436XP3 + 6,588XP4 + 6,588XP5 = 637,76 \text{ m}^3$$

$$6,588XP6 + 5,856XP7 + 5,3436XP8 + 6,588XP9 + 6,588XP10 = 644,04 \text{ m}^3$$

$$6,588XP11 + 5,856XP12 + 5,3436XP13 + 6,588XP14 + 6,588XP15 = 637,76 \text{ m}^3$$

$$6,588XP16 + 5,856XP17 + 5,3436XP18 + 6,588XP19 + 6,588XP20 = 644,04 \text{ m}^3$$

$$6,588XP21 + 5,856XP22 + 5,3436XP23 + 6,588XP24 + 6,588XP25 = 318,88 \text{ m}^3$$

$$6,588XP26 + 5,856XP27 + 5,3436XP28 + 6,588XP29 + 6,588XP30 = 322,02 \text{ m}^3$$

$$5,4XB1 + 5,4XB2 + 5,88XB3 + 5,4XB4 + 4,95XB5 + 4,68XB6 = 147,95 \text{ m}^3$$

$$5,4XB7 + 5,4XB8 + 5,88XB9 + 5,4XB10 + 4,95XB11 + 4,68XB12 = 137,08 \text{ m}^3$$

$$5,4XB13 + 5,4XB14 + 5,88XB15 + 5,4XB16 + 4,95XB17 + 4,68XB18 = 147,95 \text{ m}^3$$

$$5,4XB19 + 5,4XB20 + 5,88XB21 + 5,4XB22 + 4,95XB23 + 4,68XB24 = 137,08 \text{ m}^3$$

$$5,4XB25 + 5,4XB26 + 5,88XB27 + 5,4XB28 + 4,95XB29 + 4,68XB30 = 73,975 \text{ m}^3$$

$$5,4XB25 + 5,4XB26 + 5,88XB27 + 5,4XB28 + 4,95XB29 + 4,68XB30 = 68,54 \text{ m}^3$$

Berdasarkan siklus pengecoran:

$$6,588XP1 + 5,856XP2 + 5,3436XP3 + 6,588XP4 + 6,588XP5 + 6,588XP6 + 5,856XP7 + 5,3436XP8 + 6,588XP9 + 6,588XP10 + 6,588XP11 + 5,856XP12 + 5,3436XP13 + 6,588XP14 + 6,588XP15 + 6,588XP16 + 5,856XP17 + 5,3436XP18 + 6,588XP19 + 6,588XP20 + 6,588XP21 + 5,856XP22 + 5,3436XP23 + 6,588XP24 + 6,588XP25 + 6,588XP26 + 5,856XP27 + 5,3436XP28 + 6,588XP29 + 6,588XP30 \geq 3845,4 \text{ m}^3 \times (30 \text{ hari}) / (10 \text{ hari})$$

$$5,4XB1 + 5,4XB2 + 5,88XB3 + 5,4XB4 + 4,95XB5 + 4,68XB6 + 5,4XB7 + 5,4XB8 + 5,88XB9 + 5,4XB10 + 4,95XB11 + 4,68XB12 + 5,4XB13 + 5,4XB14 + 5,88XB15 + 5,4XB16 + 4,95XB17 + 4,68XB18 + 5,4XB19 + 5,4XB20 + 5,88XB21 + 5,4XB22 + 4,95XB23 + 4,68XB24 + 5,4XB25 + 5,4XB26 + 5,88XB27 + 5,4XB28 +$$

$$4,95XB29 + 4,68XB30 + 5,4XB31 + 5,4XB32 + 5,88XB33 + 5,4XB34 + 4,95XB35 + 4,68XB36 \geq 855,09 \text{ m}^3 \times (30 \text{ hari}) / (14 \text{ hari})$$

Hasil Penyediaan Material *Frame Scaffolding* sebanyak Volume 3 Lantai

Didapat hasil minimalisasi biaya penyediaan *frame scaffolding* sebesar Rp 1.040.059.000 (satu miliar empat puluh juta lima puluh sembilan ribu rupiah). Dengan variabel terpilih XP5, XP10, XP15, XP20, dan XP30 merupakan set *scaffolding* ukuran *main frame* ukuran 1,9 m, *ladder frame* ukuran 0,9 m, dan *cross brace* ukuran 2,2 m untuk pelat lantai sedangkan untuk balok, ukuran yang terpilih adalah variabel XP3, XP9, XP15, XP21, XP27, dan XP33 dengan ukuran *ladder frame* ukuran 1,2 m dengan *cross brace* ukuran 1,2 m.

Pada Proyek X, *frame scaffolding* untuk pelat lantai yang digunakan adalah *main frame* ukuran 1,5 m dengan *cross brace* ukuran 2,2 m (variabel XP1) dan untuk balok digunakan *main frame* ukuran 1,9 m, *ladder frame* ukuran 0,5 m dan *cross brace* ukuran 2,2 m (variabel XB2) dengan total biaya sebesar Rp 1.086.662.000 (satu miliar delapan puluh enam juta enam ratus enam puluh dua ribu rupiah).

Dengan menggunakan *metode linear programming*, didapat penghematan biaya sebesar 4.3% dari total biaya penyediaan *frame scaffolding* pada Proyek X. Selain itu, variabel set *frame scaffolding* pelat lantai yang terpilih merupakan variabel dengan harga total per set-nya yang paling murah sedangkan variabel set *frame scaffolding* balok yang terpilih merupakan variabel dengan volume per set-nya yang terbesar dengan harga yang paling mahal. Hal ini menunjukkan bahwa untuk menentukan jenis atau ukuran yang digunakan untuk *frame scaffolding* tidak hanya dilihat dari harganya saja tetapi juga bisa ditentukan dari volume yang dihasilkan.

Hasil Penyediaan Material *Frame Scaffolding* sebanyak Volume 2,5 Lantai

Didapat hasil minimalisasi biaya penyediaan *frame scaffolding* dengan total biaya sebesar Rp 866.863.800 (delapan ratus enam puluh enam juta delapan ratus enam puluh tiga ribu delapan ratus rupiah) dengan ukuran spesifikasi yang sama seperti penyediaan material sebanyak volume 3 (tiga) lantai untuk pelat lantai tetapi variabel terpilih untuk balok sedikit berbeda dari sebelumnya.

Penyediaan material sebanyak volume 2,5 (dua setengah) lantai masih memungkinkan untuk di lapangan dan jauh lebih murah dibandingkan dengan yang sudah dilakukan pada Proyek X. Penyediaan material sebanyak volume 2,5 (dua setengah lantai) masih bisa memenuhi syarat 1 (satu) siklus pengecoran. Jika material *frame scaffolding* disediakan sebanyak volume 2,5 (dua setengah lantai), maka dapat dilakukan penghematan biaya sebesar 20,23% dari total biaya penyediaan *frame scaffolding* pada Proyek X.

Hasil Penyediaan Material *Frame Scaffolding* sebanyak Volume 2 Lantai

Jika material *frame scaffolding* disediakan sebanyak volume 2 (dua) lantai, *linear programming* pada program LINDO tidak menghasilkan solusi (*no feasible solution*). Secara matematis, *constraint* yang membuat program ini tidak menghasilkan solusi adalah tidak terpenuhinya *constraint* siklus dari *constraint* penyediaan jumlah material untuk balok. Hal ini dikarenakan jika material *frame scaffolding* disediakan sebanyak volume 2 (dua) lantai, jumlah material yang disediakan tidak memenuhi 1 (satu) siklus pengecoran balok dari penjadwalan yang telah dibuat. Meskipun pengecoran pelat lantai masih bisa memenuhi 1 (satu) siklus pengecoran apabila material yang disediakan sebanyak volume 2 (dua) lantai, tetapi *frame scaffolding* yang digunakan untuk balok membutuhkan waktu lebih lama yaitu selama 14 hari mulai dari pemasangan hingga pembongkaran sehingga dibutuhkan jumlah lebih untuk tiap set *frame scaffolding* untuk balok agar dapat memenuhi 1 (satu) siklus pengecoran yaitu jumlah lantai yang ter-cor sebanyak 3 (tiga) lantai dalam waktu 30 (tiga puluh) hari.

Adapun contoh hasil penyediaan material *frame scaffolding* sebanyak volume 3 lantai dan volume lantai paling minimal dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5 berikut.

Tabel 4. Hasil Penyediaan Material sebanyak Volume 3 Lantai

Variabel	Jumlah (set)	Variabel	Jumlah (set)	Variabel	Jumlah (set)
XP1	0	XP23	0	XB15	25.1616
XP2	0	XP24	0	XB16	0
XP3	0	XP25	96.8063	XB17	0

XP4	0	XP26	0	XB18	0
XP5	96.8063	XP27	0	XB19	0
XP6	0	XP28	0	XB20	0
XP7	0	XP29	0	XB21	23
XP8	0	XP30	97.7596	XB22	0
XP9	0	XB1	0	XB23	0
XP10	97.7596	XB2	0	XB24	0
XP11	0	XB3	25.1616	XB25	0
XP12	0	XB4	0	XB26	0
XP13	0	XB5	0	XB27	25.1616
XP14	0	XB6	0	XB28	0
XP15	96.8063	XB7	0	XB29	0
XP16	0	XB8	0	XB30	0
XP17	0	XB9	23.3129	XB31	0
XP18	0	XB10	0	XB32	0
XP19	0	XB11	0	XB33	23.3129
XP20	97.7596	XB12	0	XB34	0
XP21	0	XB13	0	XB35	0
XP22	0	XB14	0	XB36	0
Total Biaya			Rp1,040,059,000		

Tabel 5. Hasil Penyediaan Material sebanyak Volume Lantai Paling Minimal

Variabel	Jumlah (set)	Variabel	Jumlah (set)	Variabel	Jumlah (set)
XP1	0	XP23	0	XB15	25.1616
XP2	0	XP24	0	XB16	0
XP3	0	XP25	7.84125	XB17	0
XP4	0	XP26	0	XB18	0
XP5	96.8063	XP27	0	XB19	0

XP6	0	XP28	0	XB20	0
XP7	0	XP29	0	XB21	23.3129
XP8	0	XP30	7.9185	XB22	0
XP9	0	XB1	0	XB23	0
XP10	97.7596	XB2	0	XB24	0
XP11	0	XB3	25.1616	XB25	0
XP12	0	XB4	0	XB26	0
XP13	0	XB5	0	XB27	25.1616
XP14	0	XB6	0	XB28	0
XP15	96.8063	XB7	0	XB29	0
XP16	0	XB8	0	XB30	0
XP17	0	XB9	23.3129	XB31	0
XP18	0	XB10	0	XB32	0
XP19	0	XB11	0	XB33	12.0598
XP20	97.7596	XB12	0	XB34	0
XP21	0	XB13	0	XB35	0
XP22	0	XB14	0	XB36	0
Total Biaya			Rp774,534,800		

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Jumlah set *frame scaffolding* ditentukan berdasarkan penyediaan material *frame scaffolding* dengan volume pelat lantai dan balok yang diinginkan. Pada Proyek X, jumlah set *frame scaffolding* paling baik adalah jika jumlah material *frame scaffolding* disediakan sebanyak volume 2,5 (dua setengah) lantai. Total biaya penyediaan material *frame scaffolding* sebanyak volume 2,5 (dua setengah) lantai lebih murah dibandingkan bila material *frame scaffolding* disediakan sebanyak volume 3 (tiga) lantai.
2. Satu siklus pengecoran dapat dikatakan terpenuhi apabila jumlah lantai ter-cor selama 30 (tiga puluh) hari adalah sebanyak volume 3 (tiga) lantai. Maka dari itu, jika penyediaan material *frame scaffolding* hanya sebanyak volume 2 (dua) lantai, 1 (satu) siklus pengecoran tidak terpenuhi. Hal ini disebabkan karena jumlah set *frame scaffolding* balok tidak memenuhi syarat pada *constraint* siklus pengecoran. Agar 1 (satu) siklus pengecoran terpenuhi, maka jumlah set *frame scaffolding* minimal yang harus disediakan adalah sebanyak volume 2,5 (dua setengah) lantai. Jumlah ini merupakan kondisi normal dengan lama waktu pemasangan 1 (satu) set *frame scaffolding* hanya sampai tahap pembongkaran (tahap *reproping* diabaikan). Jumlah set *frame scaffolding* paling sedikit didapat jika disediakan berdasarkan volume lantai paling minimal. Tetapi, kondisi ini sangat jarang atau sulit terjadi karena menurut sumber di lapangan, jumlah set *frame scaffolding* harus disediakan minimal 20-25% lebih banyak dari kebutuhan awal untuk mengantisipasi hal-hal diluar dugaan.

3. Dalam penelitian ini, metode *linear programming* lebih baik daripada perhitungan manual di lapangan karena dengan menggunakan metode *linear programming*, dapat dilakukan penghematan total biaya serta mengetahui jumlah optimal penyediaan *frame scaffolding* pada Proyek X. Jika penyediaan material *frame scaffolding* sebanyak volume 3 (tiga) lantai, maka dapat dilakukan penghematan biaya sebesar 4,3%. Jika penyediaan material *frame scaffolding* sebanyak volume 2,5 (dua setengah) lantai, maka dapat dilakukan penghematan biaya sebesar 20,23%. Sedangkan bila penyediaan material *frame scaffolding* hanya sebanyak volume paling minimal, maka dapat dilakukan penghematan biaya sebesar 28,7% dari total biaya penyediaan *frame scaffolding* yang sudah dilakukan pada Proyek X.
4. Dengan menggunakan metode *linear programming*, didapat total biaya yang paling minimal dalam penyediaan *frame scaffolding* adalah sebesar Rp 774.534.800 (tujuh ratus tujuh puluh empat juta lima ratus tiga puluh empat ribu delapan ratus rupiah) dengan kondisi penyediaan material *frame scaffolding* sebanyak volume lantai yang paling minimal.

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, diharapkan untuk penelitian-penelitian berikutnya dapat memperhatikan faktor-faktor lain yang berpengaruh dalam menentukan jumlah set *frame scaffolding* dalam suatu proyek konstruksi seperti jumlah tenaga kerja yang diperlukan serta upah untuk masing-masing tenaga kerja tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Department of Labour Te Tari Mahi. *Safe Erection and Used for Scaffolding*. Wellington: Occupational Safety and Health Service. 1995.
- Islam, S. M. Sahidul. *Linear Programming*. Dhaka: Kabir Publications. 2008.
- LINDO Systems Inc. *LINDO User's Manual*. Chicago: LINDO Systems Inc. 2003.
- Nata, Ario Raja dan Sumargo. "Keruntuhan Perancah Scaffolding saat Pelaksanaan Pengecoran". *Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil*, Politeknik Negeri Bandung. 2006.