

ANALISIS VALUE ENGINEERING (VE) PADA STRUKTUR BETON (STUDI KASUS : GALERI ANNEX PROYEK REVITALISASI PKJ TIM TAHAP II)

Cynthia Lutfi Salsabila, Fajar Sri Handayani, Setiono

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A, Kentingan Surakarta, Jawa Tengah 57126

*Email : fajarhani.uns@gmail.com

Abstract

Pusat Kesenian Jakarta Taman Ismail Marzuki (PKJ TIM) is one of the buildings revitalised by the government. The Second Phase Revitalisation Project of PKJ TIM includes planning, construction, management, and maintenance. The structure of one of the Second Phase PKJ TIM buildings, Annex Gallery, costs about 15,18% of the total cost of the Annex Gallery project. The purpose of this research was because the building structure has large dimensions, and it was not efficient. The Value Engineering (VE) method was used to analyse the works analysed and calculate the ratio before and after analysis. This research took two samples, beam construction and column construction. Two samples taken were re-calculated by adding alternative development and replacement material cement (additive substance) to mix concrete. This research used zeolite, silica fume, and metakaolin as alternative additive substances with quality concrete by $f'c$ 34 MPa; 41.4 MPa; and 45 MPa. Alternative additive substances were compared to the original structure, concrete $f'c$ 30 MPa with fly ash added. From the analysis, the chosen alternatives are mixed concrete with metakaolin. Based on the VE method, metakaolin alternative use can save a cost of 25.20%.

Keywords: cost, structure, value engineering

Abstrak

Pusat Kesenian Jakarta Taman Ismail Marzuki (PKJ TIM) merupakan salah satu area yang sedang dilakukan revitalisasi oleh pemerintah. Revitalisasi PKJ TIM Tahap II meliputi perencanaan, pembangunan, pengelolaan, dan perawatan. Pada pembangunan salah satu gedung yang terdapat di PKJ TIM Tahap II, Galeri Annex, memakan biaya sebesar 15,18% dari total keseluruhan biaya proyek Galeri Annex. Latar belakang dilakukannya penelitian ini karena galeri dinilai memiliki dimensi struktur yang cukup besar sehingga kurang efisien. Pada penelitian ini dilakukan analisis menggunakan metode *Value Engineering* (VE) dengan tujuan untuk mengidentifikasi pekerjaan struktur yang dapat dilakukan efisiensi dan menghitung perbandingan biaya yang dihasilkan sebelum dan sesudah dilakukan analisis. Penelitian dilakukan dengan mengambil dua sampel, yaitu satu pekerjaan balok dan satu pekerjaan kolom. Pada sampel yang telah diambil, dilakukan perhitungan ulang dengan memunculkan alternatif pengembangan, yaitu menambahkan bahan pengganti semen (zat aditif) dalam campuran beton. Alternatif bahan aditif yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit, *silica fume*, dan metakaolin dengan mutu beton secara berurutan, 34 MPa; 41,4 MPa; dan 45 MPa. Alternatif dibandingkan dengan struktur awal, yaitu beton $f'c$ 30 MPa dengan campuran *fly ash*. Dari analisis yang telah dilakukan, alternatif yang terpilih adalah penggunaan beton $f'c$ 45 MPa dengan campuran bahan aditif metakaolin. Berdasarkan perhitungan dengan metode VE, maka penggunaan alternatif metakaolin dapat menghemat biaya sebesar 25,20%.

Kata Kunci: biaya, struktur, value engineering

PENDAHULUAN

Beberapa tahun terakhir, perkembangan pembangunan infrastruktur pada sektor pariwisata di Indonesia mengalami peningkatan. Pusat Kesenian Jakarta Taman Ismail Marzuki (PKJ TIM) menjadi salah satu infrastruktur yang dilakukan pembangunan dengan tujuan melestarikan dan memperkenalkan wisata budaya di Indonesia kepada masyarakat luas.

Pembangunan Revitalisasi PKJ TIM tidak lepas dengan adanya permasalahan biaya. Pembiayaan pada proyek konstruksi ditentukan dengan penggunaan bahan dan material pada pembangunan. Pada proyek pembangunan PKJ TIM dapat dilihat bahwa terdapat banyak titik-titik bangunan yang mengkonsumsi banyak biaya dikarenakan dimensi struktur bangunan yang cukup besar, hal tersebut menyebabkan perlu adanya peninjauan mengenai dimensi dari bangunan sehingga bahan dan material yang digunakan tidak boros.

Peninjauan dilakukan oleh peneliti pada dimensi bangunan dengan menggunakan metode *Value Engineering* (VE). *Value Engineering* adalah suatu proses pengambilan keputusan yang sistematis berbasis multidisiplin dan terstruktur. Analisis fungsi dilakukan untuk mencapai nilai terbaik dari suatu proyek dengan mendefinisikan fungsi-fungsi yang

diperlukan untuk mencapai nilai (*value*) yang diharapkan dan menyediakan fungsi tersebut dengan biaya yang optimum, konsisten dengan kualitas dan persyaratan kinerja.

Metode VE digunakan peneliti untuk dapat mengetahui titik-titik manakah yang dapat direduksi sehingga biaya dapat dikurangi tanpa mengurangi kualitas bangunan. Penerapan metode VE, diharapkan bangunan dapat menjadi lebih efisien dari segi biaya yang dibutuhkan tanpa mengurangi kualitas dari bangunan tersebut.

METODE

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian metode kuantitatif dengan studi kasus untuk membahas dan mencari alternatif untuk memecahkan permasalahan yang ada. Teknik pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini adalah studi dokumen dan studi pustaka. Sedangkan pada analisis data dilakukan 4 tahapan, antara lain :

1. Tahap informasi, yaitu tahapan pengumpulan data primer dan sekunder yang dibutuhkan sebagai data pokok dan bahan referensi dari penelitian.
2. Tahap analisis, yaitu dilakukan perhitungan struktur bangunan Galeri Annex PKJ TIM Tahap II. Adapun tahapan analisis yang dilakukan antara lain :
 - a. Analisis *cost breakdown model* dan distribusi Hukum Pareto, digunakan untuk mengetahui persentase biaya setiap pekerjaan yang nantinya persentase terbesar akan dipilih untuk dilakukan analisis. *Cost breakdown model* adalah suatu model analisis yang berfungsi untuk menggambarkan distribusi biaya tiap pekerjaan dan biaya total dari proyek, sehingga dapat diketahui perbedaan biaya pada setiap item pekerjaan. Item dari setiap pekerjaan disusun dari biaya tertinggi ke biaya terendah, lalu dengan kurva pareto akan ditunjukkan bagian-bagian dari item pekerjaan yang berpotensi untuk dilakukan analisis.
 - b. Analisis metode *value engineering*, digunakan untuk mengetahui kekuatan struktur dan biaya bangunan gedung. Perhitungan struktur balok dan kolom bangunan gedung berdasarkan SNI 2847:2019. Perhitungan pada tahap ini dilakukan dengan bantuan *software* SAP 2000 dan Microsoft Excel.
3. Tahap pengembangan, yaitu menampilkan alternatif yang kemudian dilakukan uji coba kembali menggunakan bantuan *software* sehingga dapat menghasilkan suatu alternatif berupa informasi dan perhitungan efisiensi biaya.
4. Tahap rekomendasi, berupa penyampaian kesimpulan dan saran dari penelitian yang dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

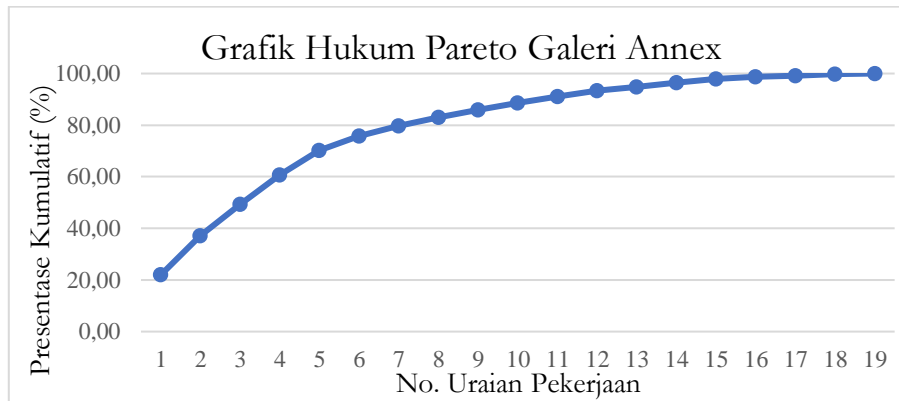
Tahap Informasi

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data-data proyek. Data tersebut digunakan sebagai acuan dalam analisis, sehingga nantinya fungsi gedung tidak berubah (tetap). Berdasarkan data yang diperoleh, proyek Galeri Annex PKJ TIM Tahap II terdiri atas beberapa pekerjaan, hal tersebut menyebabkan perlu dilakukannya analisis hukum pareto. Berikut merupakan hasil analisis *cost breakdown model* yang dilakukan pada keseluruhan biaya pekerjaan Revitalisasi Galeri Annex dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan untuk grafik dan diagram distribusi hukum Pareto dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2 di bawah ini.

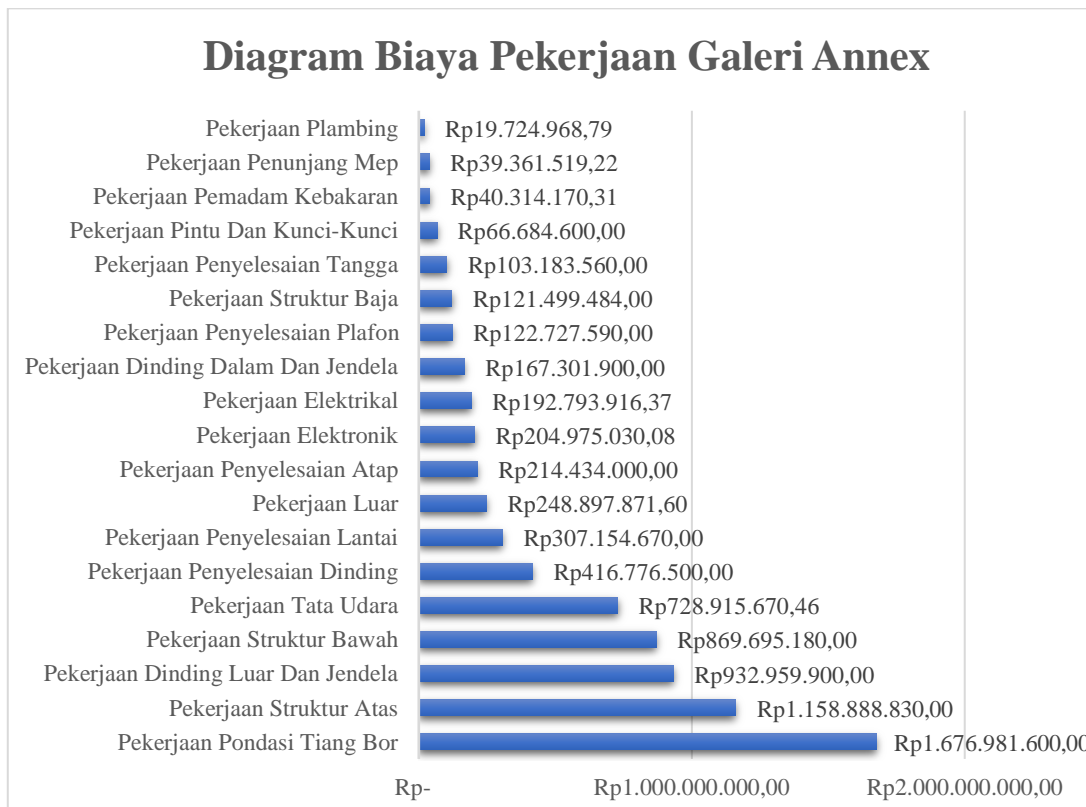
Tabel 1. *Cost breakdown model* biaya pekerjaan

No.	Uraian Pekerjaan	Biaya	Presentase Biaya (%)	Presentase Kumulatif (%)
1	Pekerjaan Pondasi Tiang Bor	Rp 1.676.981.600,00	21,97	21,97
2	Pekerjaan Struktur Atas	Rp 1.158.888.830,00	15,18	37,15
3	Pekerjaan Dinding Luar dan Jendela	Rp 932.959.900,00	12,22	49,37
4	Pekerjaan Struktur Bawah	Rp 869.695.180,00	11,39	60,77
5	Pekerjaan Tata Udara	Rp 728.915.670,46	9,55	70,32
6	Pekerjaan Penyelesaian Dinding	Rp 416.776.500,00	5,46	75,78
7	Pekerjaan Penyelesaian Lantai	Rp 307.154.670,00	4,02	79,80
8	Pekerjaan Luar	Rp 248.897.871,60	3,26	83,06
9	Pekerjaan Penyelesaian Atap	Rp 214.434.000,00	2,81	85,87
10	Pekerjaan Elektronik	Rp 204.975.030,08	2,69	88,56
11	Pekerjaan Elektrikal	Rp 192.793.916,37	2,53	91,08
12	Pekerjaan Dinding Dalam dan Jendela	Rp 167.301.900,00	2,19	93,27
13	Pekerjaan Penyelesaian Plafon	Rp 122.727.590,00	1,61	94,88

No.	Uraian Pekerjaan	Biaya	Presentase Biaya (%)	Presentase Kumulatif (%)
14	Pekerjaan Struktur Baja	Rp 121.499.484,00	1,59	96,47
15	Pekerjaan Penyelesaian Tangga	Rp 103.183.560,00	1,35	97,82
16	Pekerjaan Pintu dan Kunci-Kunci	Rp 66.684.600,00	0,87	98,70
17	Pekerjaan Pemadam Kebakaran	Rp 40.314.170,31	0,53	99,23
18	Pekerjaan Penunjang MEP	Rp 39.361.519,22	0,52	99,74
19	Pekerjaan Plambing	Rp 19.724.968,79	0,26	100,00
TOTAL		Rp 7.633.270.960,83	100,00	



Gambar 1. Grafik analisis hukum Pareto biaya pekerjaan



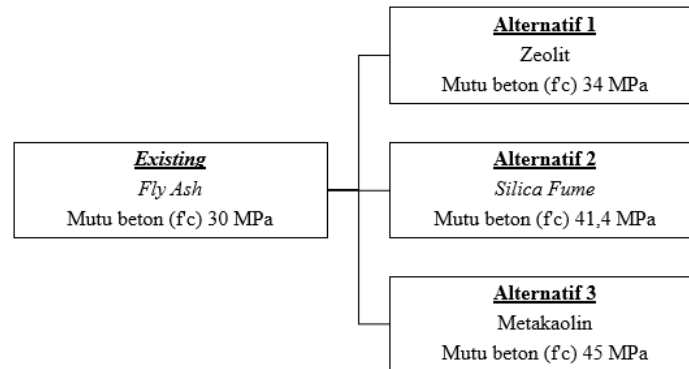
Gambar 2. Diagram biaya hukum Pareto biaya pekerjaan

Berdasarkan hasil analisis hukum Pareto yang telah dilakukan pada keseluruhan biaya pekerjaan, diketahui bahwa biaya pekerjaan dengan persentase terbesar terdapat pada pekerjaan pondasi tiang bor, yaitu sebesar 21,97%. Namun apabila dilihat kembali pada rincian biaya pekerjaan pondasi tiang bor, pekerjaan ini lebih banyak mengeluarkan biaya pada saat melakukan pengeboran dari pada pembuatan struktur pondasi itu sendiri.

Dikarenakan penelitian ini berfokus pada struktur bangunan, maka pekerjaan yang dipilih ialah pekerjaan struktur atas, dengan persentase pekerjaan 15,18%.

Tahap Analisis dan Pengembangan

Pada tahap ini dilakukan secara bersamaan antara analisis sekaligus pengembangan alternatif. Perbandingan secara langsung dimaksudkan untuk mengetahui efisiensi struktur beton bertulang sebelum dan sesudah diberi alternatif. Pengembangan alternatif yang dilakukan adalah dengan menambahkan bahan pengganti semen (zat aditif) dalam campuran beton. Alternatif bahan aditif yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit, *silica fume*, dan metakaolin. Ketiga jenis alternatif dapat secara rinci pada Gambar 3.



Gambar 3. Alternatif bahan pengganti semen

Peneliti menggunakan data sekunder yang didapat dari PT. Yodya Karya untuk komposisi *mix design* beton *existing*, sedangkan untuk komposisi *mix design* beton alternatif didapat dari penelitian-penelitian terdahulu yang relevan sebagai pedoman. Data *mix design* yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Data *mix design* beton *existing* dan alternatif

Komposisi	Mix Design					
	Semen (kg)	Agregat Kasar (kg)	Agregat Halus (kg)	Air (liter)	SP (liter)	Bahan Aditif (kg)
Beton normal 30 MPa	450,00	1172,50	577,50	180,00	9,00	-
Beton <i>fly ash</i> 30 MPa	405,00	1172,50	577,50	180,00	9,00	45,00
Beton normal 34 MPa	455,00	702,00	858,00	205,00	5,46	-
Beton zeolit 34 MPa	409,50	702,00	858,00	205,00	5,46	45,50
Beton normal 41,4 MPa	532,00	865,00	592,00	208,00	-	-
Beton <i>silica fume</i> 41,4 MPa	478,80	865,00	592,00	200,55	1,20	53,20
Beton normal 45 MPa	600,00	765,98	921,13	162,00	10,20	-
Beton metakaolin 45 MPa	435,00	745,11	906,85	162,00	10,20	165,00

Data sekunder yang berhasil didapatkan dari beberapa penelitian terdahulu tidak memiliki kekuatan beton (f'c) yang sama, sehingga diperlukan adanya komposisi beton normal (tanpa aditif pengganti semen) sebagai kontrol atau pengukur apakah alternatif yang digunakan akan menghasilkan hasil yang atau tidak.

Penelitian dilanjutkan pada analisis struktur menggunakan metode VE, yaitu dengan mengurangi dimensi sekaligus mengganti mutu beton sesuai dengan alternatif bahan pengganti semen yang telah ditentukan. Penelitian akan berfokus pada analisis struktur balok dan kolom, hal tersebut dikarenakan keterbatasan data dan informasi yang tersedia. Pada penelitian ini akan diambil sampel 1 jenis balok dan 1 jenis kolom untuk ditinjau lebih lanjut. Balok yang akan ditinjau yaitu balok B48, sedangkan kolom yang akan ditinjau adalah kolom K1D. Dimensi yang digunakan untuk desain *existing* struktur didapat dari database PT. Yodya Karya, sedangkan untuk alternatif desain didapatkan dengan cara perhitungan ulang menggunakan bantuan *software* SAP2000 dan Microsoft Excel. Hasil perhitungan balok dan kolom desain *existing* dan alternatif akan ditampilkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Desain *existing* dan alternatif struktur balok B48

No	f _c (MPa)	bxL (m)	h (m)	Tulangan	Berat Tul. (kg)	Luas (m ²)	Volume (m ³)
1.	30	0,4 x 53	0,8	<ul style="list-style-type: none"> Utama : 12 D 25 Sengkang : D13-150 	3533,06	127,2	Balok : 16,96 Tulangan : 0,45 Beton : 16,51
2.	34		0,75	<ul style="list-style-type: none"> Utama : 12 D 25 Sengkang : D13-150 	3496,31	121,9	Balok : 15,90 Tulangan : 0,45 Beton : 15,454
3.	41,4		0,55	<ul style="list-style-type: none"> Utama : 8 D 25 Sengkang : D13-150 	2532,49	100,7	Balok : 11,66 Tulangan : 0,32 Beton : 11,34
4.	45		0,5	<ul style="list-style-type: none"> Utama : 8 D 25 Sengkang : D13-150 	2495,74	95,4	Balok : 10,60 Tulangan : 0,33 Beton : 10,27

Tabel 4. Desain *existing* dan alternatif struktur kolom K1D

No	f _c (MPa)	bxH (m)	h (m)	Tulangan	Berat Tul. (kg)	Luas (m ²)	Volume (m ³)
1.	30	0,5 x 18,7	0,90	<ul style="list-style-type: none"> Utama : 22 D 22 Sengkang : D10-100 	1858,00	52,36	Kolom : 8,42 Tulangan : 0,24 Beton : 8,18
2.	34		0,85	<ul style="list-style-type: none"> Utama : 20 D 22 Sengkang : D10-100 	1729,05	50,49	Kolom : 7,95 Tulangan : 0,22 Beton : 7,73
3.	41,4		0,65	<ul style="list-style-type: none"> Utama : 18 D 22 Sengkang : D10-100 	1495,11	43,01	Kolom : 6,08 Tulangan : 0,19 Beton : 6,35
4.	45		0,60	<ul style="list-style-type: none"> Utama : 16 D 22 Sengkang : D10-100 	1366,17	41,14	Kolom : 5,61 Tulangan : 0,17 Beton : 5,44

Berdasarkan data *mix design* dan volume beton di atas, maka dapat diperhitungkan kebutuhan bahan yang akan digunakan. Rekapitulasi kebutuhan bahan beton dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Rekapitulasi kebutuhan bahan beton

Komposisi	Vol. Beton (m ³)	Mix Design					Bahan Aditif (kg)
		Semen (kg)	Agregat Kasar (kg)	Agregat Halus (kg)	Air (liter)	SP (kg)	
Beton normal 30 MPa	24,69	11109,64	28946,78	14257,37	4443,86	-	-
Beton Fly Ash 30 MPa		9998,67	28946,78	14257,37	4443,86	111,10	1110,96
Beton normal 34 MPa	23,18	10547,67	16273,55	19889,90	4752,25	126,57	-
Beton Zeolit 34 MPa		9492,90	16273,55	19889,90	4752,25	126,57	1054,77
Beton normal 41,4 MPa	17,22	9163,33	14899,02	10196,79	3582,66	-	-
Beton Silica Fume 41,4 MPa		8247,00	14899,02	10196,79	3454,33	20,67	916,33
Beton normal 45 MPa	15,71	9425,52	12032,93	14470,21	2544,89	160,23	-
Beton Metakaolin 45 MPa		6833,50	11846,46	14245,88	2544,89	160,23	2592,02

Tahapan analisis berikutnya adalah analisis biaya. Tahap analisis biaya akan dilakukan perhitungan biaya pada pekerjaan *existing* dan alternatif balok dan kolom yang telah dianalisis sebelumnya. Data sekunder yang digunakan yaitu Harga Satuan Pekerja (HSP) dan Harga Satuan Bahan (HSB). Data tersebut bersumber dari Bagian IV: Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bidang Cipta Karya dan Perumahan yang diterbitkan oleh Pemerintah pada tahun 2022 dan Jurnal Harga Satuan Bahan Bangunan Konstruksi dan Interior ISSN. 0853-4829 tahun 2021 (Daerah DKI Jakarta). Rekapitulasi AHSP dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Rekapitulasi Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)

No	Uraian Pekerjaan	Total Biaya (Rp)
I PEKERJAAN BETON		
I.1	Pembuatan 1 m ³ Beton, f'c = 30 MPa	Rp3.248.013,61
I.2	Pembuatan 1 m ³ Beton dengan <i>Fly Ash</i> , f'c = 30 MPa	Rp3.113.819,11
I.3	Pembuatan 1 m ³ Beton, f'c = 34 MPa	Rp3.188.641,11
I.4	Pembuatan 1 m ³ Beton dengan Zeolit, f'c = 34 MPa	Rp3.128.581,11
I.5	Pembuatan 1 m ³ Beton, f'c = 41,4 MPa	Rp3.252.221,11
I.6	Pembuatan 1 m ³ Beton dengan <i>Silica Fume</i> , f'c = 41,4 MPa	Rp3.674.373,61
I.7	Pembuatan 1 m ³ Beton, f'c = 45 MPa	Rp3.724.659,56
I.8	Pembuatan 1 m ³ Beton dengan Metakaolin, f'c = 45 MPa	Rp3.352.244,66
II PEKERJAAN BEKISTING		
II.1	Pemasangan 1 m ² Bekisting Untuk Balok Beton Bangunan Gedung	Rp2.639.649,94
II.2	Pemasangan 1 m ² Bekisting Untuk Kolom Beton Bangunan Gedung	Rp2.627.466,34
III PEKERJAAN PEMBESIAN		
III.1	Pekerjaan Pembesian dengan Besi Polos / Ulir (10kg)	Rp195.402,74

Analisis harga satuan pekerjaan yang telah dilakukan, digabungkan dengan perhitungan volume sehingga menghasilkan Rencana Anggaran Biaya (RAB). Rekapitulasi RAB dan persentase penghematan dari pekerjaan *existing* dan alternatif balok dan kolom yang telah dilakukan analisis dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi RAB dan persentase penghematan pekerjaan balok dan kolom *existing* dan alternatif

Jenis Pekerjaan	Total Biaya (Rp)	Selisih Biaya (Rp)	Persentase Penghematan (%)
Pekerjaan Balok dan Kolom Beton Bertulang f'c 30 MPa	Rp655.812.414,92		
Pekerjaan Balok dan Kolom Beton Bertulang f'c 30 MPa dengan <i>Fly Ash</i>	Rp652.499.409,57	Rp3.313.005,35	0,505%
Pekerjaan Balok dan Kolom Beton Bertulang f'c 34 MPa	Rp630.457.250,68		
Pekerjaan Balok dan Kolom Beton Bertulang f'c 34 MPa dengan Zeolit	Rp629.064.958,03	Rp1.392.292,65	0,221%
Pekerjaan Balok dan Kolom Beton Bertulang f'c 41,4 MPa	Rp513.537.740,14		
Pekerjaan Balok dan Kolom Beton Bertulang f'c 41,4 MPa dengan <i>Silica Fume</i>	Rp520.809.023,87	-Rp7.271.283,72	-1,416%
Pekerjaan Balok dan Kolom Beton Bertulang f'c 45 MPa	Rp493.923.190,05		
Pekerjaan Balok dan Kolom Beton Bertulang f'c 45 MPa dengan Metakaolin	Rp488.069.604,08	Rp5.853.585,97	1,185%

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 7 diketahui bahwa nilai persentase tertinggi berada pada beton f'c 41,4 MPa tambahan aditif *silica fume* namun mengalami defisit atau penurunan, sehingga dapat diketahui bahwa beton tanpa bahan aditif lebih unggul dibandingkan beton *silica fume* dari segi biaya. Pada penelitian ini beton tanpa bahan aditif hanya digunakan sebagai kontrol, maka pada perhitungan selanjutnya alternatif beton f'c 41,4 MPa dengan atau tanpa tambahan *silica fume* tidak diikutsertakan.

Akibat beton dengan bahan tambah *silica fume* tidak diikutsertakan, maka untuk alternatif paling efektif berdasarkan hasil analisis adalah beton f'c 45 MPa dengan metakaolin.

Tahap Rekomendasi

Pada rencana awal item pekerjaan struktur beton bertulang balok B48 dan kolom K1D digunakan beton mutu K350 (f'c 30 MPa) dengan total biaya pekerjaan sebesar Rp652.499.409,57. Pertimbangan yang mendasari diberikannya alternatif pada penelitian ini adalah kekuatan struktur dan efisiensi biaya pelaksanaan.

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang telah dilakukan dengan metode VE maka menghasilkan alternatif beton f_c 45 MPa dengan campuran bahan aditif metakaolin dengan penghematan sebesar 25,20%. Penghematan tersebut didapatkan dari perbandingan antara beton *fly ash* (*existing*) dan beton metakaolin (alternatif). Perhitungan atas persentase penghematan biaya dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Rekapitulasi Hasil Akhir Penghematan Biaya

Uraian	Biaya <i>Existing</i> (Rp)	Biaya Alternatif (Rp)	Selisih Biaya (Rp)	Persentase Penghematan (%)
Pekerjaan Balok dan Kolom Beton Bertulang	Rp652.499.409,57	Rp488.069.604,08	Rp164.429.805,49	25,20%

SIMPULAN

Pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Item pekerjaan yang dipilih untuk dilakukan analisis menggunakan metode *Value Engineering* (VE) adalah pekerjaan balok B48 dan kolom K1D.
2. Pekerjaan balok B48 dan kolom K1D pada proyek pembangunan Revitalisasi Pusat Kesenian Jakarta Taman Ismail Marzuki (PKJ TIM) Tahap II memerlukan biaya sebesar Rp652.499.409,57.
3. Dalam mencapai tujuan agar menghasilkan biaya yang efisien, maka dilakukan penambahan bahan pengganti semen (zat aditif) dalam campuran beton dan pengurangan dimensi pada struktur gedung.
4. Berdasarkan hasil analisis VE yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa alternatif yang terpilih adalah penggunaan beton f_c 45 MPa dengan campuran bahan aditif metakaolin. Berdasarkan perhitungan dengan metode VE, maka penggunaan alternatif beton dengan campuran bahan aditif metakaolin dapat menghemat biaya sebesar 25,20%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada seluruh pihak yang selalu memberi dukungan hingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

REFERENSI

- Badan Standarisasi Nasional, 2019, "SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan", Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional, 2020, "SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung Dan Struktur Lain", Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Budianto, M. K., 2019, "Kajian Kuat Desak Dan Modulus Elastisitas Beton Mutu Tinggi Dengan Bahan Tambah Silica Fume Menggunakan Analisis Mikrostruktur," Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Hendrianto, G. K., 2018, "Analisis Metode Value Engineering untuk Efisiensi Biaya (Studi Kasus: Proyek Apartemen Yukata Suites Alam Sutera Tangerang)," Surakarta: Universitas Sebelas Maret .
- Iqbal, A. S., 2018, "Pengaruh Zeolit Sebagai Material Pengganti Semen pada Campuran Beton Self Compacting Concrete (SCC) Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Beton" *Rekayasa Teknik Sipil* Vol. 1, No. 01. pp. 167 - 175.
- Iswanto, 2011, "Tinjauan Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton dengan Zeolit sebagai Bahan Tambah Dibanding Zeolit Sebagai Pengganti Semen Pada Campuran Beton," Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2022, "Bagian IV : Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bidang Cipta Karya dan Perumahan," Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Khafidho, Z., Kusumastuti, D. R., Setiawan, D. B., & Suwanto, 2019, "Analisis Value Engineering Struktur Portal Proyek Rumah Sakit Onkologi Kotabaru Yogyakarta," *Wahana Teknik Sipil*. Vol. 24 No.2, pp. 104-116.
- Lathifah, P., 2018, "Kajian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Pada Beton Mutu Tinggi Memadat Mandiri dengan Variasi Penambahan Bahan Metakaolin" Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Mehdi Robati, P. O., 2021, "Carbon Value Engineering: A Framework for Integrating Embodied Carbon", *Building and Environment*. Vol. 192.
- Musliha, S. S., 2021, "Analisis Value Engineering Pada Struktur Bangunan dengan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) (Studi Kasus : Proyek Supporting Unit DPRD Kota Salatiga)," Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

- Pemerintah DKI Jakarta, 2021, “Harga Satuan Bahan Bangunan Konstruksi dan Interior DKI Jakarta”, DKI Jakarta: Pemerintah DKI Jakarta.
- Rahady, M. A., 2017, “Pengaruh Penambahan Silica Fume dan Superplasticizer pada Self Compacting Concrete (SCC),” Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia.
- Setiawati, M., 2018, “Fly Ash sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton” *Jurnal Universitas Muhammadiyah*.