

MODEL REGRESI LINEAR UNTUK PREDIKSI BIAYA KONSTRUKSI AKIBAT PERUBAHAN GAMBAR AS BUILT DRAWING

THE LINEAR REGRESSION MODEL FOR PREDICTING CONSTRUCTION COSTS DUE TO CHANGES IN AS BUILT DRAWINGS

Uflahul Maulina¹, Agus Nugroho^{2*}

Universitas Gadjah Mada, Sekolah Vokasi, Prodi Teknik Pengelolaan dan Pemeliharaan Infrastruktur Sipil
Jl. Yaracanda Sekip Unit IV, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

e-mail: agusnu_groho@ugm.ac.id

ABSTRACT

Construction projects are inherently complex and highly susceptible to variations in cost due to discrepancies in work volumes across technical design documents such as Detail Engineering Design (DED), Shop Drawing (SD), and As-Built Drawing (AD). These discrepancies often arise from design adjustments, field conditions, or execution errors, which in turn affect budget accuracy and project efficiency. Such inconsistencies in volume are particularly critical in structural works like reinforcement and concrete, as these elements account for a substantial portion of total project costs. When changes in volume occur, the corresponding cost implications must be accurately estimated to maintain financial control and avoid cost overruns. This research aims to quantitatively predict the effect of volume deviations on cost variations using simple linear regression analysis. Data were collected from nine building samples that had complete documentation of DED, SD, and AD. The study focuses on structural work units with measurements in kilograms (kg) and cubic meters (m³). Regression models were assessed based on statistical indicators such as the coefficient of determination (R^2), p-value, intercept, and regression coefficients to determine the most reliable model. The results show that every additional 1 kg of reinforcement volume increases the cost by Rp19,303.00, while every additional 1 m³ of concrete adds Rp1,321,597.14 to the project cost. Both models achieved $R^2 = 1.00$, indicating perfect predictive accuracy in estimating cost variations due to volume changes. Manual validation confirmed that the predicted values were nearly identical to actual data with a negligible error rate. These results confirm that simple linear regression is a powerful yet practical analytical tool for predicting construction costs. The model developed in this study provides a scientific foundation for improving cost estimation accuracy, supporting effective budget planning, and mitigating financial risks in construction projects.

Keywords: volume changes, cost changes, simple linear regression

I. PENDAHULUAN

Industri konstruksi merupakan salah satu sektor penting dalam pembangunan nasional, namun juga termasuk yang paling rentan terhadap ketidakpastian. Dua persoalan utama yang kerap muncul adalah pembengkakan biaya (*cost overrun*) dan keterlambatan waktu (*time overrun*). *Cost overrun* diartikan sebagai kondisi ketika biaya aktual melebihi rencana, dan menjadi indikator lemahnya pengendalian proyek [1]. Fenomena *cost overrun* telah banyak dilaporkan di berbagai negara salah satunya di Asia Selatan mengalami rata-rata kenaikan biaya sebesar 25–30% [2]. Sebuah studi di Ethiopia juga menemukan bahwa proyek bangunan publik mengalami *cost overrun* sebesar 20,7%, disertai keterlambatan jadwal yang signifikan [3]. Di Indonesia, data serupa menyatakan bahwa mayoritas proyek publik menghadapi *cost overrun* akibat perubahan desain, *rework*, serta lemahnya

sistem manajemen proyek [1]. Pada sebuah penelitian bahkan mencatat adanya perubahan biaya 21,6% pada salah satu proyek akibat perencanaan yang tidak sesuai kondisi lapangan [4].

Salah satu faktor dominan penyebab *cost overrun* adalah perubahan volume pekerjaan antara dokumen *Detail engineering Design* (DED), *Shop Drawing* (SD), dan *As Built Drawing* (AD). Perubahan volume pada dokumen tersebut secara langsung akan memengaruhi nilai biaya konstruksi, terutama pada pekerjaan struktur yang menyerap sebagian besar anggaran, seperti pekerjaan pembesian (kg) dan pekerjaan beton (m³). Di Indonesia, perhitungan biaya mengacu pada Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) yang tidak hanya mencakup harga material, tetapi juga tenaga kerja, peralatan, *overhead*, dan keuntungan kontraktor [5].

Penelitian ini mengambil studi kasus pada proyek pembangunan gedung sederhana di

wilayah Yogyakarta, yang terdiri atas sembilan lokasi dengan jenis pekerjaan yang serupa. Proyek-proyek tersebut dipilih karena memiliki kelengkapan dokumen teknis (DED, SD, dan AD) serta menunjukkan indikasi perubahan volume pekerjaan yang signifikan, khususnya pada elemen struktur beton dan pemasangan. Pemilihan proyek ini didasarkan pada kriteria kesamaan karakteristik pekerjaan, kemudahan akses data teknis, serta relevansi terhadap fenomena perubahan volume pekerjaan yang memengaruhi biaya konstruksi.

Permasalahan menjadi semakin kompleks karena proses pengambilan keputusan di lapangan sering kali masih didasarkan pada pengalaman atau intuisi tanpa dukungan analisis kuantitatif. Akibatnya, estimasi biaya berpotensi menyimpang dari kondisi aktual dan menimbulkan ketidakakuratan dalam penggunaan anggaran. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan matematis yang mampu menjelaskan hubungan antara perubahan volume pekerjaan dengan perubahan biaya konstruksi secara objektif. Metode regresi linier sederhana menjadi pilihan yang relevan karena dapat memetakan hubungan kuantitatif antar variabel sekaligus menghasilkan model prediktif yang mudah diaplikasikan [6].

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji isu serupa, namun umumnya berfokus pada pengaruh *change order* dan deviasi jadwal terhadap biaya proyek berskala besar [7], atau hubungan antara luas bangunan dan total biaya konstruksi dalam konteks estimasi awal [8]. Namun, belum banyak penelitian yang secara khusus mengkaji pengaruh perubahan volume pekerjaan antar dokumen teknis (DED–SD–AD) terhadap perubahan biaya aktual pada proyek gedung sederhana di Indonesia.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model regresi linier sederhana yang dapat memperkirakan besarnya perubahan biaya konstruksi akibat perubahan volume pekerjaan antara dokumen DED, SD, dan AD. Model ini diharapkan memberikan kontribusi praktis dalam membantu manajer proyek dan konsultan perencana menilai efisiensi biaya secara kuantitatif, serta mengidentifikasi potensi kerugian atau keuntungan akibat deviasi volume pekerjaan.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif deskriptif. Metode ini dipilih karena mampu menyajikan data numerik dari hasil pengukuran, sekaligus memberikan gambaran faktual tentang fenomena yang terjadi di lapangan. Penelitian

kuantitatif deskriptif biasanya digunakan untuk menguji hubungan antar-variabel dengan cara mengolah data numerik melalui teknik statistik [9]. Dalam konteks ini, analisis regresi linier sederhana dipakai untuk mengidentifikasi hubungan antara variabel independen (volume pekerjaan) dan variabel dependen (biaya pekerjaan), serta menghasilkan model matematis yang dapat diuji secara empiris [10]. Metode ini dipilih karena secara teoretis sesuai dengan tujuan penelitian yang ingin mengetahui seberapa besar pengaruh perubahan volume terhadap perubahan biaya konstruksi.

Penelitian ini menggunakan data populasi, yaitu seluruh data item pekerjaan yang mengalami perubahan pada proyek gedung sederhana di wilayah Yogyakarta. Karena seluruh populasi telah dianalisis, maka asumsi klasik dan uji hipotesis statistik (seperti uji-t atau uji-F) tidak relevan untuk diterapkan. Uji-uji tersebut digunakan dalam konteks inferensi statistik, yaitu untuk menggeneralisasi hasil penelitian dari sampel ke populasi yang lebih luas [9]. Dalam penelitian ini, seluruh populasi data telah dianalisis, sehingga hasil yang diperoleh secara langsung merefleksikan kondisi nyata proyek tanpa memerlukan generalisasi. Oleh karena itu, analisis regresi dalam penelitian ini difokuskan pada pembuktian deskriptif, bukan inferensial, untuk menilai sejauh mana perubahan volume pekerjaan memengaruhi perubahan biaya aktual proyek. Model persamaan regresi dapat dilihat pada rumus 1 berikut.

$$Y = \alpha + bX + e \quad (1)$$

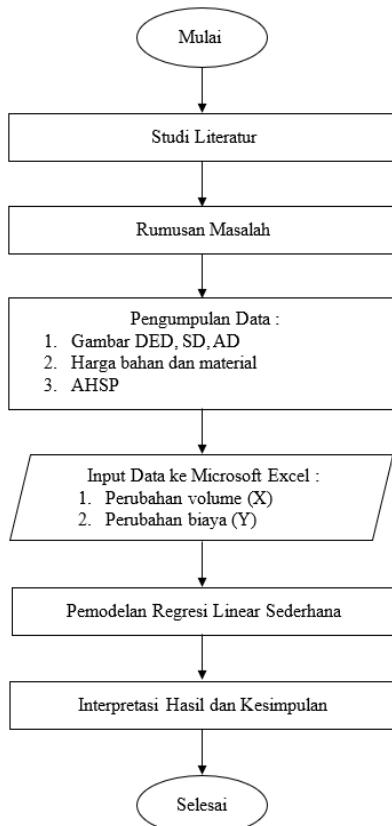
Keterangan:

- Y adalah variabel dependen
- X adalah variabel independen
- α adalah konstanta atau *intercept*
- b adalah koefisien regresi
- e adalah error atau residual

Jenis data yang digunakan adalah data sekunder yang dipilih karena mampu memberikan informasi yang relevan dengan cara yang lebih efisien dan memungkinkan analisis pada sampel besar atau data longitudinal yang sulit diperoleh melalui pengumpulan primer. Hal ini sesuai dengan keuntungan penggunaan *secondary* data yang dideskripsikan dalam literatur metodologi penelitian [11]. Dalam penelitian ini, data sekunder bersumber dari dokumen teknis perencanaan dan realisasi proyek, mencakup gambar teknis (DED, SD, dan AD) dari Sembilan lokasi proyek, harga upah material, dan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP).

Guna memperjelas tahapan penelitian, digunakan diagram alir penelitian yang

menggambarkan secara sistematis tahapan penelitian dari awal hingga akhir mulai dari pengumpulan data, pengolahan data, analisis regresi, hingga interpretasi hasil. Diagram alir memfasilitasi penyajian urutan kegiatan penelitian secara visual sehingga memudahkan dalam memahami alur metode penelitian [12]. Berikut ini adalah alur dari penelitian yang dapat dicermati pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis akan dilakukan pada sembilan proyek gedung sederhana di Yogyakarta dengan fokus pada pekerjaan struktur. Data yang digunakan berupa volume pekerjaan satuan kg dan m³ dari tiga jenis dokumen teknis, yaitu *Detail Engineering Design* (DED), *Shop Drawing* (SD), dan *As Built Drawing* (AD). Perhitungan dilakukan dengan membandingkan perubahan volume dan biaya antar dokumen, meliputi pasangan DED–SD, DED–AD, SD–AD, serta data gabungan dari ketiga perubahan tersebut. Selanjutnya, data hasil perhitungan dianalisis menggunakan regresi linier sederhana untuk mengetahui hubungan antara perubahan volume dengan perubahan biaya.

Dalam pemilihan model regresi terbaik untuk tiap satuan, beberapa kriteria digunakan, yaitu: (1) koefisien determinasi (R^2) tertinggi sebagai ukuran kekuatan hubungan antar variabel, (2) nilai

signifikansi ($p\text{-value} < 0,05$) untuk menunjukkan bahwa model linear dan signifikan, (3) *intercept* (α) untuk menunjukkan nilai rata-rata Y ketika X adalah nol, serta (4) koefisien regresi (β) yang mencerminkan besarnya perubahan biaya akibat perubahan volume. Model regresi yang memenuhi kriteria tersebut kemudian dipilih sebagai model terbaik yang dapat mendeskripsikan besaran perubahan biaya akibat perubahan volume pada satuan tersebut.

A. Tinjauan Umum

1. *Detail Engineering Design* (DED)

DED (*Detail Engineering Design*) merupakan fase awal dalam urutan desain dan perencanaan bangunan yang bertujuan untuk memproduksi gambar dan spesifikasi teknis yang terperinci. DED mencakup gambar rinci bangunan atau spesifikasi teknis, yang meliputi rencana teknis arsitektur, struktur, mekanikal, dan elektrikal.

2. *Shop Drawing* (SD)

Shop drawing atau gambar kerja adalah gambar teknis yang sangat rinci dan mencakup petunjuk khusus untuk mendirikan atau menghasilkan suatu bangunan, barang, atau bagian. *Shop drawing* disusun dengan lebih terperinci berdasarkan DED oleh kontraktor untuk menunjukkan cara elemen konstruksi akan dibuat, dipasang, atau dirakit di lokasi.

3. *As Built Drawing* (AD)

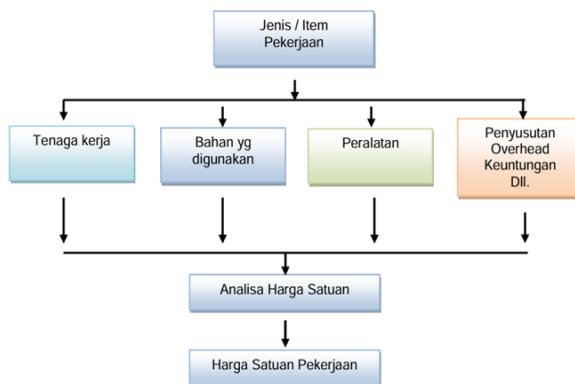
As built drawing adalah representasi visual yang menggambarkan keadaan nyata dari suatu bangunan atau struktur setelah proses pembangunan selesai. Dokumen ini mencatat semua rincian dari konstruksi yang telah dilaksanakan, termasuk semua perubahan, penyesuaian, atau revisi yang terjadi selama pelaksanaan konstruksi, sehingga memberikan gambaran yang tepat dan menyeluruh mengenai kondisi sesungguhnya bangunan tersebut.

4. Volume Pekerjaan

Volume pekerjaan merupakan salah satu aspek fundamental dalam dunia konstruksi yang mencerminkan besarnya kuantitas dari suatu aktivitas pembangunan. Secara umum, volume pekerjaan dapat didefinisikan sebagai jumlah atau besaran dari suatu elemen pekerjaan yang akan atau telah dilaksanakan dalam suatu proyek konstruksi, baik yang bersifat struktural, arsitektural, mekanikal, elektrikal, maupun infrastruktur. Volume ini biasanya dinyatakan dalam satuan panjang (meter), luas (meter²), atau isi (meter³), tergantung pada jenis dan karakteristik pekerjaannya.

5. Analisis Harga Satuan Pekerjaan

Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) adalah suatu metode yang digunakan untuk menghitung biaya satuan dari setiap jenis pekerjaan dalam proyek konstruksi secara terperinci, berdasarkan komponen-komponen utama seperti bahan, tenaga kerja, alat, serta tambahan biaya tidak langsung dan keuntungan. Harga satuan dapat dikatakan sebagai jumlah biaya untuk setiap jenis atau item pekerjaan yang sering dilaksanakan dalam suatu proyek pembangunan. Pada Gambar 2 menunjukkan tahapan analisis harga satuan pekerjaan yang dimulai dari identifikasi jenis atau item pekerjaan. Setiap item dianalisis berdasarkan komponen utama, yaitu tenaga kerja, bahan, peralatan, serta biaya penyusutan, *overhead*, dan keuntungan, hingga diperoleh harga satuan pekerjaan yang representatif [13].



Gambar 2 Alur Penyusunan AHSP

6. Rencana Anggaran Biaya

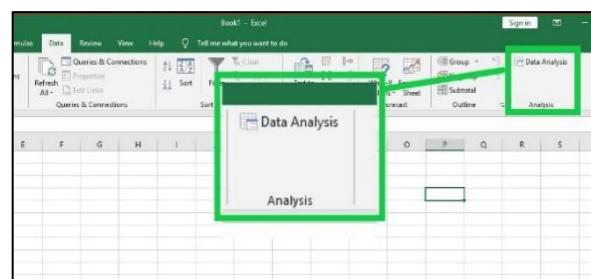
RAB disusun untuk memberikan gambaran kebutuhan dana agar proyek dapat dilaksanakan sesuai dengan spesifikasi, waktu, dan mutu yang direncanakan. Dokumen ini memuat rincian jenis pekerjaan, volume, harga satuan, dan total biaya setiap item pekerjaan. Dalam penelitian ini, RAB berperan sebagai variabel dependen (Y) yang nilainya dipengaruhi oleh perubahan volume pekerjaan sebagai variabel independen (X) dalam model regresi linier sederhana.

7. Regresi Linear Sederhana

Regresi linear sederhana adalah salah satu metode analisis statistik yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara satu variabel terikat/dependen (Y) dengan satu variabel bebas/independen (X) [14]. Metode ini digunakan untuk menjelaskan dan memprediksi bagaimana perubahan pada variabel X akan memengaruhi variabel Y.

8. Microsoft Excel

Microsoft Excel adalah salah satu perangkat lunak untuk pengolahan data yang dikembangkan oleh Microsoft. Excel memiliki kemampuan analitis yang kuat, terutama melalui fitur tambahan yang disebut *Data Analysis ToolPak*. Pada Gambar 3 menunjukkan letak fitur *Data Analysis* pada tab Data di Microsoft Excel. Fitur ini secara efektif mengubah Excel menjadi perangkat lunak statistik yang dapat diandalkan untuk melakukan berbagai analisis, termasuk regresi linear sederhana.



Gambar 3 Letak *Data Analysis ToolPak*

B. Analisis Data

1. Satuan kg

Tabel 1 menyajikan data volume pekerjaan pada satuan kg di sembilan lokasi proyek beserta perubahan volume (ΔX), harga satuan pekerjaan (AHSP), dan perubahan harga (ΔY) yang terjadi antar dokumen DED, SD, dan AD. Data tersebut menjadi dasar untuk melihat hubungan antara variasi volume pembesian dengan perubahan biaya proyek.

Tabel 1 Analisis Data Satuan kg

No. Item Pekerjaan	Volume			Perubahan Volume (ΔX)			AHSP	Perubahan Harga (ΔY)		
	DED	SD	AD	DED-SD	DED-AD	SD-AD		DED-SD	DED-AD	SD-AD
Proyek 1										
1 Pek. Pembesian										
Pondasi	3909,26	3909,26	3909,26	0,00	0,00	0,00	Rp19.302,50	Rp	-	Rp
Sloof	2176,10	2176,10	1887,50	0,00	288,60	288,60	Rp19.302,50	Rp	-	Rp 5.570.701,50
Ring Balk	1153,40	1153,40	899,29	0,00	254,11	254,11	Rp19.302,50	Rp	-	Rp 4.904.958,28
Kolom	1165,12	1165,12	1104,56	0,00	60,56	60,56	Rp19.302,50	Rp	-	Rp 1.168.959,40
Proyek 2										
1 Pek. Pembesian										
Pondasi	3909,26	3909,26	3909,26	0,00	0,00	0,00	Rp19.302,50	Rp	-	Rp
Sloof	2176,10	2176,10	1887,50	0,00	288,60	288,60	Rp19.302,50	Rp	-	Rp 5.570.701,50
Ring Balk	1153,40	1153,40	899,29	0,00	254,11	254,11	Rp19.302,50	Rp	-	Rp 4.904.958,28
Kolom	1165,12	1165,12	1104,56	0,00	60,56	60,56	Rp19.302,50	Rp	-	Rp 1.168.959,40
Proyek 3										
1 Pek. Pembesian										
Pondasi	1871,80	1871,80	1871,80	0,00	0,00	0,00	Rp19.302,50	Rp	-	Rp
Sloof	3428,22	3087,95	3087,95	340,27	340,27	0,00	Rp19.302,50	Rp6.568.061,68	Rp 6.568.061,68	Rp
Ring Balk	1068,70	1068,70	1068,70	0,00	0,00	0,00	Rp19.302,50	Rp	-	Rp
Kolom	1469,78	1469,78	1469,78	0,00	0,00	0,00	Rp19.302,50	Rp	-	Rp
Proyek 4										
1 Pek. Pembesian										
Pondasi	1871,80	1871,80	1873,21	0,00	1,41	1,41	Rp19.302,50	Rp	-	Rp 27.216,53
Sloof	3428,22	3087,95	3428,22	340,27	0,00	340,27	Rp19.302,50	Rp6.568.061,68	Rp 6.568.061,68	Rp
Ring Balk	1068,70	1068,70	804,77	0,00	263,93	263,93	Rp19.302,50	Rp	-	Rp 5.094.508,83
Kolom	1469,78	1393,55	1332,57	76,23	137,21	60,98	Rp19.302,50	Rp1.471.429,58	Rp 2.648.496,03	Rp 1.177.066,45
Proyek 5										
1 Pek. Pembesian										
Pondasi	1812,06	1812,06	1812,06	0,00	0,00	0,00	Rp19.302,50	Rp	-	Rp
Sloof	2963,68	2963,68	2395,98	0,00	567,70	567,70	Rp19.302,50	Rp10.958.029,25	Rp 10.958.029,25	Rp
Ring Balk	2016,37	2016,37	1898,97	0,00	117,40	117,40	Rp19.302,50	Rp	-	Rp 2.266.113,50
Kolom	1240,25	1240,25	1240,25	0,00	0,00	0,00	Rp19.302,50	Rp	-	Rp
Proyek 6										
1 Pek. Pembesian										
Pondasi	1812,06	1812,06	1812,06	0,00	0,00	0,00	Rp19.302,50	Rp	-	Rp
Sloof	2963,68	2769,27	2669,17	194,41	294,51	100,10	Rp19.302,50	Rp3.752.599,03	Rp 5.684.779,28	Rp 1.932.180,25
Ring Balk	2016,37	2016,37	2016,37	0,00	0,00	0,00	Rp19.302,50	Rp	-	Rp
Kolom	1240,25	1086,80	1086,80	153,45	153,45	0,00	Rp19.302,50	Rp2.961.968,63	Rp 2.961.968,63	Rp
Proyek 7										
1 Pek. Pembesian										
Pondasi	1871,80	1871,80	1873,21	0,00	1,41	1,41	Rp19.302,50	Rp	-	Rp 27.216,53
Sloof	3428,22	3087,95	2849,29	340,27	578,93	238,66	Rp19.302,50	Rp6.568.061,68	Rp11.174.796,33	Rp 4.606.734,65
Ring Balk	1068,70	1068,70	699,12	0,00	369,58	369,58	Rp19.302,50	Rp	-	Rp 7.133.817,95
Kolom	1469,78	1469,78	1240,26	0,00	229,52	229,52	Rp19.302,50	Rp	-	Rp 4.430.309,80
Proyek 8										
1 Pek. Pembesian										
Pondasi	1812,06	1812,06	1812,06	0,00	0,00	0,00	Rp19.302,50	Rp	-	Rp
Sloof	2963,68	2963,68	2963,68	0,00	0,00	0,00	Rp19.302,50	Rp	-	Rp
Ring Balk	2016,37	2016,37	2016,37	0,00	0,00	0,00	Rp19.302,50	Rp	-	Rp
Kolom	1240,25	1240,25	1240,25	0,00	0,00	0,00	Rp19.302,50	Rp	-	Rp
Proyek 9										
1 Pek. Pembesian										
Pondasi	1871,80	1871,80	1873,21	0,00	1,41	1,41	Rp19.302,50	Rp	-	Rp 27.216,53
Sloof	3428,22	3063,05	2849,29	365,17	578,93	213,76	Rp19.302,50	Rp7.048.693,92	Rp11.174.796,33	Rp 4.126.102,40
Ring Balk	1068,70	991,08	699,12	77,62	369,58	291,96	Rp19.302,50	Rp1.498.260,05	Rp 7.133.817,95	Rp 5.635.557,90
Kolom	1469,78	1393,55	1240,26	76,23	229,52	153,29	Rp19.302,50	Rp1.471.429,58	Rp 4.430.309,80	Rp 2.958.880,23

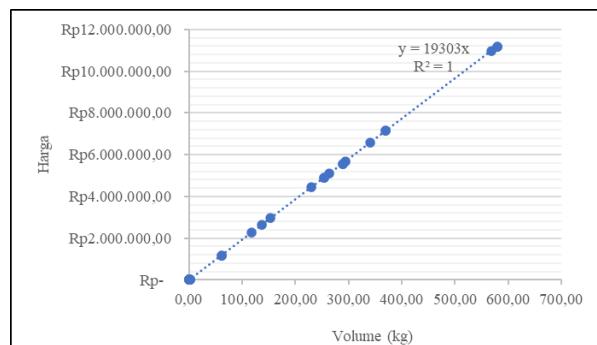
Hasil analisis regresi linier sederhana untuk pekerjaan dengan satuan kilogram (kg) menghasilkan model terbaik pada perbandingan DED–AD. Seperti ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 4, persamaan regresi yang diperoleh adalah $Y = 19303X$ dengan nilai $R^2 = 1,00$. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan volume (X) mampu menjelaskan perubahan biaya (Y) secara sempurna tanpa adanya penyimpangan nilai. Kondisi ini terjadi karena biaya pekerjaan pembesian dalam penelitian ini dihitung secara langsung berdasarkan volume (kg) dengan harga satuan yang bersifat tetap, sehingga hubungan antara volume dan biaya bersifat deterministik.

Nilai p -value = 0,000 < 0,05 mengonfirmasi bahwa model regresi signifikan secara statistik, sementara nilai $intercept = 0$ menandakan tidak terdapat biaya tetap ketika volume bernilai nol. Dengan demikian, setiap penambahan 1 kg akan meningkatkan biaya sebesar Rp19.303,00. Hasil ini sejalan dengan grafik sebaran pada Gambar 4 yang memperlihatkan garis regresi hampir berhimpit dengan seluruh titik data, sehingga dapat disimpulkan bahwa model regresi yang diperoleh sangat kuat dan layak digunakan untuk memprediksi biaya berdasarkan perubahan volume.

Tabel 2 *Summary Output* Satuan kg

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	1
Standard Error	0,0000
Observations	36

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	0,0000	0,0000	6,6133	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
X Variable 1	19302,5	0,0000	32327621616070600	0	19302,5	19302,5	19302,5	19302,5



Gambar 4 Model Regresi Satuan kg

Pembuktian kesesuaian model dilakukan dengan membandingkan nilai biaya hasil perhitungan teoritis pada rumus $Y = 19303X$ dengan nilai biaya aktual. Pada contoh perubahan volume kolom (DED-AD) pada Proyek 1 sebesar 60,56 kg, hasil perhitungan diperoleh: $Y = 19\,303 \times 60,56 = \text{Rp}1\,168\,989,68$

$$Y = 19.303 \times 60,56 = Rp1.168.989,68$$

Sementara itu, biaya aktual untuk volume dengan pekerjaan yang sama berdasarkan Tabel 1 adalah Rp1.168.959.40. Dengan demikian, selisih perhitungan dapat dihitung:

$$\text{Error Relatif} = \frac{30,28}{1.168.959,40} \times 100\% \approx 0,00259\%$$

Nilai error relatif yang sangat kecil, yakni sekitar 0,0026%, menunjukkan bahwa persamaan

regresi memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi dalam memprediksi perubahan biaya berdasarkan perubahan volume pekerjaan terhadap kondisi aktual proyek. Nilai error relatif yang berada di bawah 0,01% ini dapat dianggap tidak signifikan, sehingga persamaan regresi tetap valid dan layak digunakan untuk estimasi biaya proyek. Dikarenakan hubungan antara volume dan biaya pada pekerjaan pembesian bersifat deterministik, hasil regresi ditafsirkan sebagai representasi hubungan kuantitatif aktual yang terjadi pada proyek yang dikaji, bukan sebagai pengujian korelasi statistik secara inferensial, melainkan sebagai pendekatan teknis dalam mendukung estimasi dan pengendalian biaya konstruksi.

Meskipun deviasi biaya relatif sangat kecil, perbedaan volume pekerjaan yang terjadi antara dokumen DED, *Shop Drawing*, dan *As Built Drawing* tetap memiliki implikasi teknis terhadap pengendalian biaya proyek. Perubahan volume tersebut umumnya disebabkan oleh penyesuaian desain struktural di lapangan, perbedaan asumsi perencanaan awal, serta kebutuhan teknis aktual selama pelaksanaan konstruksi. Oleh karena itu, fokus utama analisis bukan pada hubungan matematis volume–biaya, melainkan pada identifikasi dampak perubahan volume antar dokumen teknis terhadap konsistensi perencanaan dan realisasi biaya konstruksi.

2. Satuan m^3

Tabel 3 menyajikan data volume pekerjaan beton pada sembilan lokasi proyek beserta perubahan volume (ΔX), harga satuan pekerjaan (AHSP), dan perubahan harga (ΔY) yang terjadi

antar dokumen DED, SD, dan AD. Data ini digunakan untuk menilai pengaruh perbedaan volume pekerjaan beton terhadap perubahan biaya konstruksi.

Tabel 3 Analisis Data Satuan m^3

No.	Item Pekerjaan	Volume			Perubahan Volume (ΔX)			AHSP	Perubahan Harga (ΔY)		
		DED	SD	AD	DED-SD	DED-AD	SD-AD		DED-SD	DED-AD	SD-AD
Proyek 1											
1	Pek. Tanah										
	Galian tanah	87,32	87,32	87,32	0,00	0,00	0,00	Rp 98.750,00	Rp	- Rp	- Rp
	Urugan tanah kembali	29,11	29,11	29,11	0,00	0,00	0,00	Rp 72.500,00	Rp	- Rp	- Rp
	Urugan pasir	20,51	20,51	20,51	0,00	0,00	0,00	Rp 249.500,00	Rp	- Rp	- Rp
2	Pek. Beton										
	Pondasi	15,48	15,48	15,48	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
	Sloof	14,05	14,05	14,05	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
	Kolom	4,77	4,77	4,77	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
	Slab	60,08	60,08	60,08	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
Proyek 2											
1	Pek. Tanah										
	Galian tanah	87,32	87,32	87,32	0,00	0,00	0,00	Rp 98.750,00	Rp	- Rp	- Rp
	Urugan tanah kembali	29,11	29,11	29,11	0,00	0,00	0,00	Rp 72.500,00	Rp	- Rp	- Rp
	Urugan pasir	20,51	20,51	20,51	0,00	0,00	0,00	Rp 249.500,00	Rp	- Rp	- Rp
2	Pek. Beton										
	Pondasi	15,48	15,48	15,48	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
	Sloof	14,05	14,05	14,05	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
	Kolom	4,77	4,77	4,77	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
	Slab	60,08	60,08	60,08	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
Proyek 3											
1	Pek. Tanah										
	Galian tanah	88,95	88,95	88,95	0,00	0,00	0,00	Rp 98.750,00	Rp	- Rp	- Rp
	Urugan tanah kembali	29,65	29,65	29,65	0,00	0,00	0,00	Rp 72.500,00	Rp	- Rp	- Rp
	Urugan pasir	20,77	20,77	20,77	0,00	0,00	0,00	Rp 249.500,00	Rp	- Rp	- Rp
2	Pek. Beton										
	Pondasi	15,84	15,84	15,84	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
	Sloof	14,70	14,70	14,70	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
	Kolom	4,18	4,18	3,70	0,00	0,48	0,48	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp 634.366,63	Rp 634.366,63
	Slab	43,70	43,70	35,30	0,00	8,40	8,40	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp 11.101.415,98	Rp 11.101.415,98
Proyek 4											
1	Pek. Tanah										
	Galian tanah	88,95	88,95	88,95	0,00	0,00	0,00	Rp 98.750,00	Rp	- Rp	- Rp
	Urugan tanah kembali	29,65	29,65	29,65	0,00	0,00	0,00	Rp 72.500,00	Rp	- Rp	- Rp
	Urugan pasir	20,77	20,77	20,77	0,00	0,00	0,00	Rp 249.500,00	Rp	- Rp	- Rp
2	Pek. Beton										
	Pondasi	15,84	15,84	15,84	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
	Sloof	14,70	14,70	14,70	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
	Kolom	4,18	4,18	3,70	0,00	0,48	0,48	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp 634.366,63	Rp 634.366,63
	Slab	43,16	43,70	35,30	0,54	7,86	8,40	Rp 1.321.597,14	Rp 713.662,46	- Rp 10.387.753,52	Rp 11.101.415,98

No.	Item Pekerjaan	Volume			Perubahan Volume (ΔX)			AHSP	Perubahan Harga (ΔY)		
		DED	SD	AD	DED-SD	DED-AD	SD-AD		DED-SD	DED-AD	SD-AD
Proyek 5											
1	Pek. Tanah										
	Galian tanah	75,07	75,07	75,07	0,00	0,00	0,00	Rp 98.750,00	Rp	- Rp	- Rp
	Urugan tanah kembali	25,02	25,02	25,02	0,00	0,00	0,00	Rp 72.500,00	Rp	- Rp	- Rp
	Urugan pasir	17,57	17,57	17,57	0,00	0,00	0,00	Rp 249.500,00	Rp	- Rp	- Rp
2	Pek. Beton										
	Pondasi	17,64	17,64	17,64	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
	Sloof	12,60	12,60	12,60	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
	Kolom	4,36	4,28	4,28	0,08	0,08	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp 105.727,77	Rp 105.727,77	Rp
	Slab	35,42	35,42	35,42	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
Proyek 6											
1	Pek. Tanah										
	Galian tanah	75,07	75,07	75,07	0,00	0,00	0,00	Rp 98.750,00	Rp	- Rp	- Rp
	Urugan tanah kembali	25,02	25,02	25,02	0,00	0,00	0,00	Rp 72.500,00	Rp	- Rp	- Rp
	Urugan pasir	17,57	17,57	17,57	0,00	0,00	0,00	Rp 249.500,00	Rp	- Rp	- Rp
2	Pek. Beton										
	Pondasi	17,64	17,64	17,64	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
	Sloof	12,60	12,60	12,60	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
	Kolom	4,36	4,36	4,36	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
	Slab	35,42	35,42	35,42	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
Proyek 7											
1	Pek. Tanah										
	Galian tanah	88,95	88,95	88,95	0,00	0,00	0,00	Rp 98.750,00	Rp	- Rp	- Rp
	Urugan tanah kembali	29,65	29,65	29,65	0,00	0,00	0,00	Rp 72.500,00	Rp	- Rp	- Rp
	Urugan pasir	20,77	20,77	20,77	0,00	0,00	0,00	Rp 249.500,00	Rp	- Rp	- Rp
2	Pek. Beton										
	Pondasi	15,84	15,84	15,84	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
	Sloof	14,70	14,70	14,70	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
	Kolom	4,18	4,18	3,70	0,00	0,48	0,48	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp 634.366,63	Rp 634.366,63
	Slab	43,16	43,16	34,87	0,00	8,29	8,29	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp 10.956.040,29	Rp 10.956.040,29
Proyek 8											
1	Pek. Tanah										
	Galian tanah	75,07	75,07	75,07	0,00	0,00	0,00	Rp 98.750,00	Rp	- Rp	- Rp
	Urugan tanah kembali	25,02	25,02	25,02	0,00	0,00	0,00	Rp 72.500,00	Rp	- Rp	- Rp
	Urugan pasir	17,57	17,57	17,57	0,00	0,00	0,00	Rp 249.500,00	Rp	- Rp	- Rp
2	Pek. Beton										
	Pondasi	17,64	17,64	17,64	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
	Sloof	12,60	12,60	12,60	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
	Kolom	4,36	4,36	4,36	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
	Slab	35,42	35,87	35,87	0,45	0,45	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp 594.718,71	Rp 594.718,71	Rp
Proyek 9											
1	Pek. Tanah										
	Galian tanah	88,95	88,95	88,95	0,00	0,00	0,00	Rp 98.750,00	Rp	- Rp	- Rp
	Urugan tanah kembali	29,65	29,65	29,65	0,00	0,00	0,00	Rp 72.500,00	Rp	- Rp	- Rp
	Urugan pasir	20,77	20,77	20,77	0,00	0,00	0,00	Rp 249.500,00	Rp	- Rp	- Rp
2	Pek. Beton										
	Pondasi	15,84	15,84	15,84	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
	Sloof	14,70	14,70	14,70	0,00	0,00	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp	- Rp
	Kolom	4,18	4,18	3,70	0,00	0,48	0,48	Rp 1.321.597,14	Rp	- Rp 634.366,63	Rp 634.366,63
	Slab	43,16	35,30	35,30	7,86	7,86	0,00	Rp 1.321.597,14	Rp 10.387.753,52	Rp 10.387.753,52	Rp

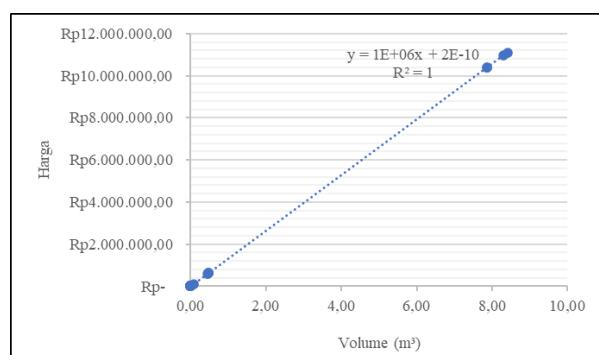
Hasil analisis regresi linier sederhana untuk pekerjaan dengan satuan meter kubik (m^3) menunjukkan model terbaik pada perbandingan DED–AD. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4 dan Gambar 5, diperoleh persamaan regresi $Y = 1E+06X + 2E-10$ dengan nilai $R^2 = 1,00$. Nilai ini menegaskan bahwa 100% perubahan biaya dapat dijelaskan oleh perubahan volume, sehingga model memiliki tingkat ketepatan yang sempurna. Kondisi ini terjadi karena biaya pekerjaan tanah dan beton dalam penelitian ini dihitung secara langsung berdasarkan volume (m^3) dengan harga satuan yang bersifat tetap, sehingga hubungan antara volume dan biaya bersifat deterministik. Uji signifikansi juga menunjukkan nilai $p\text{-value} = 0,000 < 0,05$, yang berarti model regresi signifikan

secara statistik. Selain itu, nilai *intercept* yang sangat kecil dan mendekati nol (2E-10) memperlihatkan bahwa tidak terdapat biaya tetap ketika volume bernilai nol, sehingga model ini logis secara teknis. Dengan demikian, berdasarkan nilai koefisien regresi (b) pada Tabel 4 dapat disimpulkan bahwa setiap penambahan 1 m³ akan meningkatkan biaya sebesar Rp1.321.597,14. Grafik sebaran data yang ditunjukkan pada Gambar 5 juga memperlihatkan titik-titik data yang berhimpit dengan garis regresi, memperkuat bahwa model yang diperoleh sangat akurat dan dapat diandalkan dalam memprediksi biaya pekerjaan beton berdasarkan perubahan volumenya.

Tabel 4 *Summary Output* Satuan m³

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	1
Standard Error	0,0000
Observations	63

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	0,0000	0,0000	-1,5760	0,1202	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
X Variable 1	1321597,14	0,0000	9155655784260000	0	1321597,14	1321597,14	1321597,14	1321597,14



Gambar 5 Model Regresi Satuan m^3

Pembuktian kesesuaian model dilakukan dengan membandingkan nilai biaya hasil perhitungan teoritis pada rumus $Y = 1.321.597,14X$ dengan nilai biaya aktual. Pada contoh perubahan volume beton slab (DED-AD) Proyek 3 yang tercantum pada Tabel 3, yaitu sebesar 8,40 kg, hasil perhitungan diperoleh: $Y = 1.321.597,14 \times 8,4 = \text{Rp}11.101.415,98$

Nilai tersebut sama dengan biaya aktual yang tercantum pada Tabel 3, yaitu sebesar Rp11.101.415,98, sehingga selisih perhitungan bernilai nol dan menghasilkan error relatif sebesar 0%. Hasil ini menunjukkan bahwa model regresi mampu merepresentasikan kondisi aktual proyek

secara sangat akurat dalam memprediksi perubahan biaya pekerjaan beton akibat perubahan volume.

Sebagaimana pada pekerjaan pembesian, hubungan antara volume dan biaya pada pekerjaan beton bersifat deterministik. Oleh karena itu, hasil regresi dalam penelitian ini ditafsirkan sebagai representasi hubungan kuantitatif aktual yang terjadi pada proyek yang dikaji, bukan sebagai pengujian korelasi statistik secara inferensial, melainkan sebagai pendekatan teknis dalam mendukung estimasi dan pengendalian biaya konstruksi. Meskipun pada contoh ini tidak ditemukan deviasi antara nilai teoritis dan aktual, perbedaan volume pekerjaan yang terjadi antara dokumen DED, *Shop Drawing*, dan *As Built Drawing* tetap memiliki implikasi teknis terhadap pengendalian biaya proyek, terutama yang berkaitan dengan penyesuaian desain struktural, kebutuhan teknis di lapangan, serta akurasi perencanaan awal.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan volume pekerjaan berpengaruh langsung terhadap perubahan biaya pada pekerjaan struktur khususnya untuk item pekerjaan satuan kg dan m^3 .

Estimasi biaya yang diperoleh dari hasil analisis regresi linier sederhana menunjukkan bahwa setiap penambahan 1 kg akan menambah biaya sebesar Rp19.303,00, sedangkan setiap penambahan 1 m³ akan menambah biaya sebesar Rp1.321.597,14. Temuan ini menegaskan bahwa regresi linier sederhana dapat digunakan secara akurat untuk mengestimasi biaya berdasarkan perubahan volume pekerjaan konstruksi.

Penelitian ini tidak dimaksudkan untuk membuktikan bahwa peningkatan volume pekerjaan akan meningkatkan biaya konstruksi, karena hubungan tersebut telah diketahui secara umum dalam praktik konstruksi. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada pemodelan kuantitatif perubahan biaya akibat perbedaan volume pekerjaan yang terjadi antar dokumen teknis, khususnya antara *Detail Engineering Design* (DED), *Shop Drawing* (SD), dan *As Built Drawing* (AD) pada proyek gedung sederhana.

Model regresi yang dihasilkan menunjukkan bahwa setiap perubahan volume pekerjaan secara langsung menghasilkan perubahan biaya dengan tingkat deviasi yang sangat kecil terhadap kondisi aktual proyek. Hal ini mengindikasikan bahwa perbedaan volume antar dokumen teknis bukan sekadar variasi administratif, tetapi memiliki implikasi nyata terhadap konsistensi perencanaan dan realisasi biaya konstruksi. Dengan demikian, regresi linier sederhana dalam penelitian ini berfungsi sebagai alat evaluasi kuantitatif untuk menilai besarnya dampak perubahan volume terhadap biaya, sekaligus sebagai pendekatan prediktif dalam pengendalian biaya proyek.

Secara praktis, temuan ini memberikan implikasi bagi manajemen proyek, khususnya dalam meningkatkan ketelitian pengendalian volume pekerjaan sejak tahap perencanaan hingga pelaksanaan. Model yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu untuk mengidentifikasi potensi deviasi biaya sejak dini akibat perubahan volume, sehingga keputusan korektif dapat dilakukan lebih cepat dan terukur. Hal ini menjadi penting terutama pada proyek gedung sederhana yang memiliki keterbatasan anggaran dan tingkat toleransi risiko biaya yang relatif rendah.

Penelitian ini memiliki keterbatasan pada ruang lingkup data yang hanya mencakup satu jenis proyek dengan jumlah lokasi terbatas serta fokus pada pekerjaan struktur dengan harga satuan yang bersifat tetap. Oleh karena itu, hasil penelitian ini belum dapat digeneralisasi untuk jenis proyek lain yang memiliki karakteristik harga satuan tidak linier atau sistem pembiayaan yang lebih kompleks. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan model dengan

mempertimbangkan variasi jenis proyek, metode kontrak, serta komponen biaya tidak langsung, sehingga analisis perubahan biaya akibat perubahan volume dapat menjadi lebih komprehensif.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima Kasih kepada Departemen Teknik Sipil Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada atas dukungan dan fasilitas untuk penelitian sehingga hasilnya dapat dipublikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Susanti, "Cost overrun and time delay of construction project in Indonesia," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1444, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1444/1/012050.
- [2] J. M. Andrić, S. Lin, Y. Cheng, and B. Sun, "Determining Cost and Causes of Overruns in Infrastructure Projects in South Asia," *Sustain.*, vol. 16, no. 24, 2024, doi: 10.3390/su162411159.
- [3] M. Teffera and A. B. Yimer, "Analysis of Cost and Time Overruns for Major Public Building Construction Projects in Dire Dawa City, Ethiopia Analysis of Cost and Time Overruns for Major Public Building Construction Projects in Dire Dawa City," pp. 0–10, 2025, doi: 10.20944/preprints202508.0196.v1.
- [4] A. Adryani, T. A. Taufik, and H. D. Armono, "Analysis of Cost Overrun & Time Overrun Causal Factors Affecting Construction Project Cost Performance Using Dematel & ANP," *Dinasti Int. J. Econ. Financ. Account.*, vol. 5, no. 5, pp. 4969–4978, 2024, doi: 10.38035/dijefa.v5i5.3613.
- [5] W. Yogyakarta, "Analisis Harga Satuan Pekerjaan Konstruksi dan Jasa Lainnya," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 183, no. 2, pp. 153–164, 2023.
- [6] D. A. Pohan, M. H. Dar, and Irmayanti, "Penerapan Data Mining untuk Prediksi Penjualan Produk Sepatu Terlaris Menggunakan Metode Regresi Linier Sederhana," *J. Nas. Inform. dan Teknol. Jar.*, vol. 2, no. 1, pp. 2–6, 2022, [Online]. Available: <https://doi.org/10.30743/infotekjar.v6i2.4795>
- [7] J. S. Ramadhan and M. Waty, "Impact of Change Orders on Cost Overruns and Delays in Large-Scale Construction Projects," *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.*, vol. 15, no. 1, pp. 20291–20299, 2025, doi: 10.48084/etasr.9449.

- [8] N. Bebasari, Parulian, and Daspar, “Ilomata International Journal of Social Science,” *Ilomata Int. J. Soc. Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 376–389, 2025.
- [9] Soegiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. 2013.
- [10] E. O. F. Economics *et al.*, *Single-equation regression models*. 2013.
- [11] R. J. Wickham, PhD, RN, AOCN, “Secondary Analysis Research,” *J. Adv. Pract. Oncol.*, vol. 10, no. 4, pp. 395–400, 2019, doi: 10.6004/jadpro.2019.10.4.7.
- [12] T. Pipit Mulyah, Dyah Aminatun, Sukma Septian Nasution, Tommy Hastomo,
- [13] Setiana Sri Wahyuni Sitepu, “Analisis Perbandingan Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan Pembangkit Listrik Tenaga Angin/Bayu di Lan Ciheras Tasikmalaya Universitas,” *J. GEEJ*, vol. 7, no. 2, pp. 48–62, 2020.
- [14] K. SaThierbach *et al.*, “Perhitungan Volume, Analisa Harga Satuan, RAB, dan Spesifikasi Teknis,” *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–15, 2015.
- [14] I. M. Yuliara, “Modul Regresi Linear,” 2016.