

ESTIMASI KEBUTUHAN MATERIAL BETON STRUKTUR DAN BESI TULANGAN DENGAN METODE REGRESI MULTILINIER

Reven Renata¹ dan Fuk Jin Oei²

¹Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
reven.327221009@stu.untar.ac.id

²Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
fukjin.untar@gmail.com

Masuk: 06-01-2024, revisi: 08-02-2024, diterima untuk diterbitkan: 29-07-2024

ABSTRACT

Cost calculation in the early stages of project are the estimates made at the earliest when the project owner needs to understand the possible costs that will be incurred when the project is built. An estimator in the early stages of planning often has little information regarding the project and little time to prepare it, causing the estimate to be less precise and require more effort to carry out. One way to get a more precise estimate is firstly to calculate the material requirements then multiply it with its unit price rate. Multiple linear regression analysis is used as a method to obtain a model for estimating the need for structural concrete and steel rebar. The estimation results are then compared with the actual results to obtain the MAER value for structural concrete and steel rebar. The data processed is in the form of a project dataset of seven hospital projects which drawings are equivalent to Detail Engineering Design (DED) or For Tender documents, and Bill of Quantity (BoQ) documents which calculations of structural concrete and steel rebar have been recapitulated manually by the Quantity Surveyor (QS) consultant company. It was found that the MAER for structural concrete and steel rebar respectively are 22.38 and 28.91. This MAER value can be accepted as a budget estimate in PMBOK.

Keywords: Multilinear regression, estimate, Mean Absolute Error Rate, concrete, steel rebar

ABSTRAK

Perhitungan biaya di tahap awal perencanaan proyek merupakan suatu estimasi yang dilakukan paling awal pada saat pemilik proyek perlu memahami kemungkinan biaya yang akan dikeluarkan pada saat proyeknya dibangun. Seorang ahli estimasi pada tahap awal perencanaan seringkali memiliki sedikit informasi mengenai proyek dan sedikit waktu untuk mempersiapkannya sehingga menyebabkan estimasinya menjadi kurang tepat dan membutuhkan usaha lebih untuk mengerjakannya. Cara yang dapat dilakukan untuk memperoleh estimasi biaya yang lebih tepat adalah dengan menghitung kebutuhan materialnya terlebih dahulu lalu dikalikan dengan harga satuan pekerjaannya. Analisis regresi multiliner dijadikan sebagai metode untuk memperoleh model estimasi kebutuhan beton struktur dan besi tulangan. Hasil estimasinya lalu dibandingkan dengan nilai aktualnya sehingga didapatkan nilai MAER untuk kebutuhan beton struktur dan besi tulangan. Data yang diolah berupa *dataset* proyek sebanyak tujuh proyek rumah sakit yang gambarnya setara dengan *Detail Engineering Design* (DED) atau dokumen *For Tender*, dan dokumen *Bill of Quantity* (BoQ) yang perhitungan kebutuhan material beton struktur dan besi tulangannya telah direkapitulasi oleh konsultan *Quantity Surveyor* (QS) secara manual. Hasil perhitungan diperoleh nilai MAER untuk kebutuhan beton struktur dan besi tulangan sebesar 22,38 dan 28,91. Nilai MAER ini dapat diterima sebagai *budget estimate* dalam PMBOK.

Kata kunci: Regresi multiliner, estimasi, *Mean Absolute Error Rate*, beton, besi tulangan

1. PENDAHULUAN

Perhitungan biaya di tahap awal perencanaan proyek merupakan suatu estimasi yang dilakukan paling awal saat pemilik proyek perlu memahami kemungkinan biaya yang akan dikeluarkan pada saat proyeknya dibangun. Estimasi biaya proyek memegang peranan penting dalam penyelenggaraan proyek (Soeharto, 1999). Estimasi pada tahap awal juga dapat menentukan apakah proyek tersebut layak untuk dibangun atau tidak. Apabila layak, maka estimasi biaya tersebut menjadi acuan bagi pemilik proyek untuk perencanaan selanjutnya yang lebih matang.

Seorang ahli estimasi pada tahap awal perencanaan seringkali memiliki sedikit informasi mengenai proyek dan sedikit waktu untuk mempersiapkannya sehingga menyebabkan estimasinya menjadi kurang tepat dan membutuhkan usaha lebih untuk mengerjakannya (Garcia de Soto et al., 2017). Pada tahap awal ini juga perhitungan *volume* pekerjaan

tidak dapat mewakili estimasi biaya secara tepat dikarenakan gambar kerja dan spesifikasi teknis belum disajikan secara detail dan lengkap.

Untuk mendapatkan estimasi biaya yang lebih tepat, cara yang dapat dilakukan adalah dengan menghitung kebutuhan materialnya terlebih dahulu dari gambar skematik yang tersedia, lalu mengalikannya dengan harga satuan pekerjaannya. Dengan begitu, kebutuhan material dan harga satuan pekerjaannya dapat diperbarui secara terpisah sehingga mendapat gambaran finansial proyek yang lebih jelas (Garcia de Soto et al., 2017).

Oleh karena itu, perumusan masalah dalam penelitian ini berupa: (1) Apakah metode regresi multilinier dapat digunakan untuk memperoleh estimasi kebutuhan material dengan tepat?, dan (2) Seberapa tepat hasil estimasi yang diperoleh dibandingkan nilai aktualnya? Maka dari itu, tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk menguji metode regresi multilinier untuk memperoleh estimasi kebutuhan material pada tahap awal perencanaan proyek dan membandingkan ketepatan estimasi dari metode tersebut berdasarkan rentang estimasi menurut PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*, 2021).

Dalam PMBOK, rentang estimasi untuk proyek yang belum memiliki data yang lengkap berada pada rentang nilai dari -25 persen sampai +75 persen. Lalu, untuk proyek yang sudah memiliki gambar skematik dan *layout* berada pada rentang nilai dari -10 persen sampai +25 persen. Terakhir, untuk proyek yang memiliki gambar kerja dan spesifikasi yang jelas dan tersusun sehingga dapat melakukan *tender* dengan kontraktor berada pada rentang nilai dari -5 persen sampai +10 persen.

Metode analisis regresi multilinier

Pada penelitian ini menggunakan metode analisis regresi multilinier untuk memperoleh hasil estimasi kebutuhan beton struktur dan besi tulangan. Analisis regresi multilinier adalah metode yang digunakan dalam pemodelan statistik untuk mendapatkan perkiraan nilai dari pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat. Tujuannya adalah untuk mengetahui apakah ada atau tidak hubungan fungsi persamaan linier antara variabel bebas terhadap variabel terikat (Riduwan dan Sunarto, 2017). Variabel bebas

Hubungan fungsi persamaan regresi linier antara variabel bebas terhadap variabel terikat dapat dinyatakan dalam persamaan (1).

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n \quad (1)$$

dengan Y = variabel terikat, X = variabel bebas, dari 1 sampai n , a = nilai konstan, b = nilai koefisien

Analisis regresi multilinier dilakukan dengan metode *Ordinary Least Square* (OLS). Dengan adanya enam variabel bebas, perhitungan regresi dibantu dengan matriks untuk memperoleh nilai konstan dan koefisien variabelnya. Persamaan regresi dari persamaan (1) dikembangkan dalam bentuk matriks menjadi persamaan (2).

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{21} & \dots & X_{k1} \\ 1 & X_{12} & X_{22} & \dots & X_{k2} \\ 1 & X_{13} & X_{23} & \dots & X_{k3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{1n} & X_{2n} & \dots & X_{kn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

dengan Y = variabel terikat, X = variabel bebas, n = jumlah sampel, k = jumlah variabel bebas, β_0 = nilai konstan, β = nilai koefisien, dari 1 sampai k , ε = nilai *error*, dari 1 sampai n .

Dari persamaan (2), persamaan matriks dapat dinyatakan dengan sederhana pada persamaan (3) dengan nilai konstan dan koefisien yang dicari, $\hat{\beta}$, sebagai berikut.

$$Y = X \hat{\beta} + \varepsilon \quad (3)$$

Maka dari itu, untuk memperoleh nilai $\hat{\beta}$ dari persamaan (3), urutan persamaannya diubah menjadi persamaan (4) sebagai berikut.

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (4)$$

dengan $\hat{\beta}$ = hasil perhitungan berupa nilai konstan dan koefisien, X = matriks X berupa variabel bebas, X^T = transpose dari matriks X , $(X^T X)^{-1}$ = inverse dari matriks X^T dan X , Y = matriks Y berupa variabel terikat.

Mean Absolute Error Rate (MAER)

Sebelum memperoleh nilai MAER, nilai *Absolute Error Rate* (AER) dihitung terlebih dahulu dengan mencari selisih hasil estimasi dengan nilai aktualnya lalu dibagi dengan nilai aktual kebutuhan proyek tersebut. Persamaan (5) mendeskripsikan perhitungan AER sebagai berikut.

$$AER = \frac{|y_a - y_i|}{y_i} \times 100 \tag{5}$$

dengan y_a = hasil estimasi dari masing-masing metode, y_i = nilai aktual kasus i.

Setelah memperoleh nilai AER, nilai MAER dapat dihitung dengan membagi jumlah nilai AER dengan jumlah sampel. Nilai MAER lalu dibandingkan dengan masing-masing metode. Semakin kecil nilai MAER, hasil estimasi semakin mendekati nilai aktual. Persamaan MAER dituliskan dalam persamaan (6).

$$MAER = \frac{1}{n} \times \sum (AER_i) \tag{6}$$

dengan n = jumlah sampel, dalam hal ini, sebanyak tujuh buah, AER_i = nilai AER proyek i.

2. METODE PENELITIAN

Untuk mengembangkan persamaan regresi multilinear, diperlukan data dari proyek-proyek sejenis sebelumnya. Perhitungan menggunakan data sebanyak tujuh *dataset* proyek rumah sakit digunakan untuk penelitian ini. *Dataset* berupa gambar kerja dan spesifikasi teknis setara dengan *Detail Engineering Design* (DED) atau dokumen *For Tender*, dan dokumen *Bill of Quantity* (BoQ) yang perhitungan kebutuhan material beton struktur dan besi tulangnya telah direkapitulasi oleh perusahaan konsultan *Quantity Surveyor* (QS) secara manual.

Variabel bebas sebanyak enam variabel berupa luas lantai (X_1), tinggi antar lantai (X_2), jumlah lantai (X_3), jumlah kolom (X_4), rasio bentang pelat rata-rata (X_5), luas dinding beton struktur (X_6) dan dua variabel terikat berupa beton (Y_1) dan besi tulangan (Y_2). Variabel-variabel bebas tersebut diperoleh berdasarkan keterikatannya terhadap estimasi kebutuhan pada bangunan gedung dan juga terhadap penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya (Uysal dan Sonmez, 2023; Ahn et al., 2020; Prathama et al., 2017; Dewanti et al., 2021; Arafa dan Alqedra, 2011; Permatasari et al., 2023). Variabel terikat Y_1 dan Y_2 diperoleh dari hasil rekapitulasi BoQ dan, untuk mendapatkan estimasi yang mendekati nilai variabel terikat, maka nilainya dijadikan acuan pada perhitungan model regresi multilinear.

Nilai variabel bebas masing-masing diperoleh dengan mengukur gambar denah dan potongan dengan dibantu perangkat lunak CAD dan dihitung dengan cara sebagai berikut: X_1 diperoleh dengan menghitung total luas lantai bangunan, X_2 diperoleh dengan menghitung rata-rata tinggi lantai bangunan, X_3 diperoleh dengan menghitung banyak lantai pada bangunan, X_4 diperoleh dengan menghitung jumlah total kolom pada bangunan, X_5 diperoleh dengan menghitung jumlah bentang panjang semua modul pelat dibagi dengan jumlah bentang lebar semua modul pelat, X_6 diperoleh dengan menghitung total luas dinding struktur.

Tabel 1. Dataset proyek beserta rekapitulasi beton dan besi tulangan

Tabel 1 merangkum *dataset* proyek yang digunakan untuk perhitungan model regresi multilinear. Pengujian model dilakukan dengan metode *Leave-One-Out Cross Validation* (LOOCV) yaitu metode validasi silang dengan memisahkan satu proyek dari *dataset* untuk mendapatkan persamaan regresi multilinear dari enam proyek lainnya. Setelah persamaan regresinya diperoleh, hasil estimasinya diperoleh menggunakan variabel dari proyek yang telah dipisah dengan persamaan regresi yang diperoleh. Setelah mendapatkan hasil estimasinya, kemudian dibandingkan

Nama Proyek	Variabel Bebas					Variabel Terikat		
	Luas Lantai (X_1)	Tinggi Lantai (X_2)	Jumlah Lantai (X_3)	Jumlah Kolom (X_4)	Rasio Bentang Pelat Rata-Rata (X_5)	Luas Dinding Beton (X_6)	Beton (Y_1)	Besi Tulangan (Y_2)
RS A	28.640,58	4,05	11	616	2,67	67,35	8.352,39	1.214.901
RS B	8.860,59	4,26	9	291	2,04	165,46	4.483,3	1.204.239
RS C	57.570,9	4,21	16	991	1,96	480,30	25.490,1	3.357.837
RS D	13.128,14	4,49	10	604	2,79	91,52	6.341,15	1.211.940
RS E	16.633,15	3,88	9	403	2,1	60,22	6.774,77	1.062.984
RS F	18.164,58	3,93	13	618	1,87	5,16	8.496,77	1.688.699
RS G	36.289,92	3,93	13	909	1,62	13,82	11.410,31	1.789.724

dengan nilai aktualnya menggunakan persamaan (3) dan dihitung rata-ratanya menggunakan persamaan (4).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagai contoh, perhitungan dilakukan dengan menggunakan *dataset* proyek RS B, C, D, E, F, dan G untuk memperoleh persamaan regresi. Setelah persamaan regresi didapat, hasil estimasi RS A untuk beton struktur dan besi tulangan dapat diperoleh dengan memasukkan variabel bebas pada persamaan regresinya. Perhitungan dilakukan dengan persamaan (4) menggunakan data variabel dari tabel 1.

Perhitungan untuk memperoleh estimasi RS A dimulai dari penulisan matriks X sebagai berikut.

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 8.860,59 & 4,26 & 9 & 291 & 2,04 & 165,46 \\ 1 & 57.570,9 & 4,21 & 16 & 991 & 1,96 & 480,30 \\ 1 & 13.128,14 & 4,49 & 10 & 604 & 2,79 & 91,52 \\ 1 & 16.633,15 & 3,88 & 9 & 403 & 2,1 & 60,22 \\ 1 & 18.164,58 & 3,93 & 13 & 618 & 1,87 & 5,16 \\ 1 & 36.289,92 & 3,93 & 13 & 909 & 1,62 & 13,82 \end{bmatrix}$$

dimana pada baris pertama dari matriks X didapatkan nilai 1 pada kolom pertama sebagai nilai konstan, nilai 8.860,59 pada kolom kedua diperoleh dari tabel 1 kolom X₁ proyek RS B, nilai 4,26 pada kolom ketiga diperoleh dari tabel 1 kolom X₂ proyek RS B, nilai 9 pada kolom keempat diperoleh dari tabel 1 kolom X₃ proyek RS B, nilai 291 pada kolom kelima diperoleh dari tabel 1 kolom X₄ proyek RS B, nilai 2,04 pada kolom keenam diperoleh dari tabel 1 kolom X₅ proyek RS B, nilai 165,46 pada kolom ketujuh diperoleh dari tabel 1 kolom X₆ proyek RS B, dan seterusnya pada baris selanjutnya.

Lalu dilanjutkan dengan menyatakan matriks X^T yaitu *transpose* dari matriks X sebagai berikut.

$$X^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 8.860,59 & 57.570,9 & 13.128,14 & 16.633,15 & 18.164,58 & 36.259,92 \\ 4,26 & 4,21 & 4,49 & 3,88 & 3,93 & 3,93 \\ 9 & 16 & 10 & 9 & 13 & 13 \\ 291 & 991 & 604 & 403 & 618 & 909 \\ 2,04 & 1,96 & 2,79 & 2,1 & 1,87 & 1,62 \\ 165,46 & 480,3 & 91,52 & 60,22 & 5,16 & 13,82 \end{bmatrix}$$

Sesuai dengan persamaan (4), matriks X^T dikalikan dengan matriks X dan diperoleh hasil sebagai berikut.

$$X^T X = \begin{bmatrix} 6 & 150.467 & 25 & 70 & 3.816 & 12,38 & 816 \\ 150.647 & 5.488.838.726 & 617.608 & 1.989.768 & 118.477.000 & 295.360 & 31.915.587 \\ 25 & 617.608 & 102 & 288 & 15.688 & 51 & 3.446 \\ 70 & 1.989.768 & 288 & 856 & 47.993 & 142 & 10.878 \\ 3.816 & 118.477.000 & 15.688 & 47.993 & 2.802.192 & 7.698 & 619.419 \\ 12 & 295.360 & 51 & 142 & 7.698 & 26 & 1.693 \\ 816 & 31.915.587 & 3.446 & 10.878 & 619.419 & 1.693 & 270.285 \end{bmatrix}$$

Selanjutnya matriks X^TX dilakukan perhitungan *inverse* menggunakan cara *elemental row operation*.

$$(X^T X)^{-1} = \begin{bmatrix} 6,4E + 14 & -6,7E + 09 & -1,4E - 14 & -1,2E + 13 & 3,9E + 11 & -2,2E + 13 & 4,2E + 11 \\ -6,7E + 09 & 7,0E - 04 & 1,5E + 09 & 1,3E + 08 & -4,1E + 06 & 2,3E + 08 & -4,4E + 06 \\ -1,4E + 14 & 1,5E - 05 & 3,2E + 13 & 2,7E + 12 & -8,6E + 10 & 5,0E + 12 & -9,3E + 10 \\ -1,2E + 13 & 1,3E - 06 & 2,7E + 12 & 2,2E + 11 & -7,2E + 09 & 4,1E + 11 & -7,8E + 09 \\ 3,9E + 11 & -4,1E - 07 & -8,6E + 10 & -7,2E + 09 & 2,3E + 08 & -1,3E + 10 & 2,5E + 08 \\ -2,2E + 13 & 2,3E - 05 & 5,0E + 12 & 4,1E + 11 & -1,3E + 10 & 7,7E + 11 & -1,4E + 10 \\ 4,2E + 11 & -4,4E + 06 & -9,3E + 10 & -7,8E + 09 & 2,5E + 08 & -1,4E + 10 & 2,7E + 08 \end{bmatrix}$$

Setelah memperoleh matriks (X^TX)⁻¹, perhitungan dilanjutkan dengan mengalikannya dengan matriks X^T sebagai berikut.

$$A^{-1}X^T = \begin{bmatrix} 0,79 & -0,47 & -0,34 & 1,6 & -1 & 0,68 \\ -4,9E - 05 & 1,5E - 05 & -3,9E - 05 & 1,0E - 04 & -1,7E - 05 & -2,8E - 06 \\ 0,95 & -0,15 & -0,21 & -0,64 & -0,5 & 0,74 \\ -0,12 & 6,3E - 02 & -8,5E - 02 & 0 & 0,37 & -0,23 \\ 1,5E - 03 & -6,9E - 04 & 2,9E - 03 & -5,1E - 03 & -1,9E - 03 & 2,7E - 03 \\ -1,5 & 0,27 & 0,65 & 1,3 & 0,43 & -1,1 \\ 3,3E - 03 & 1,1E - 03 & 1,4E - 03 & -4,3E - 03 & -1,2E - 03 & -6,6E - 04 \end{bmatrix}$$

Dilanjutkan dengan matriks Y untuk beton struktur sebagai berikut.

$$Y = \begin{bmatrix} 8.352,39 \\ 4.483,3 \\ 25.490,1 \\ 6.341,15 \\ 6.774,77 \\ 8.496,77 \\ 11.410,31 \end{bmatrix}$$

Dilanjutkan dengan mengalikan matriks Y sehingga memperoleh nilai $\hat{\beta}$ untuk nilai konstan dan koefisien sebagai persamaan regresi multilinier dari RS B, C, D, E, F, dan G sebagai berikut.

$$\hat{\beta} = A^{-1}X^TY = \begin{bmatrix} -12.688,08 \\ 0,44 \\ -782,96 \\ 1.268,62 \\ -13,56 \\ 4.346,76 \\ 1,67 \end{bmatrix}$$

Setelah memperoleh nilai konstan dan koefisiennya, persamaan regresi untuk mendapatkan hasil estimasi kebutuhan beton struktur RS A adalah sebagai berikut.

$$Y = -12.688,08 + 0,44 X_1 + (-782,96) X_2 + 1.268,62 X_3 + (-13,56) X_4 + 4.346,76 X_5 + 1,67 X_6$$

Dengan mengikuti perhitungan diatas dan diterapkan untuk semua model rumah sakit, maka didapatkan nilai konstan dan koefisien dan hasil estimasinya untuk kebutuhan beton struktur dan besi tulangan berturut-turut pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Nilai konstan dan koefisien untuk kebutuhan beton struktur

Nama Proyek	Konstan		Koefisien					Estimasi
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	
RS A	-12.668,08	0,44	-782,96	1.268,62	-13,56	4.346,76	1,67	14.057,82
RS B	4.293,01	0,10	-531,91	543,51	1,34	-1.899,35	23,55	8.235,11
RS C	5.740,73	0,10	-105,74	26,89	3,48	-596,95	-10,55	8.778,88
RS D	10.488,43	0,71	-2.271,86	1.941,07	-37,97	-4.148,26	-3,78	-5.772,16
RS E	-11.416,55	0,08	-49,62	1.160,51	4,74	290,73	18,05	3.775,11
RS F	29.285,76	0,34	-1.357,58	-3.558,41	25,76	-1.622,03	34,89	-3.019,57
RS G	21.583,73	0,09	-2.434,13	-904,46	24,31	-4.564,94	16,96	18.563,97

Tabel 3. Nilai konstan dan koefisien untuk kebutuhan besi tulangan

Nama Proyek	Konstan		Koefisien					Estimasi
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	
RS A	-744.676,47	9,05	-15.437,94	192.016,58	-272,69	-3.832,62	1.773,83	1.505.434
RS B	375.518,81	-9,85	-85.062,97	152.838,98	612,54	-295.724,86	2.988,14	1.372.004
RS C	368.420,22	-9,30	-42.537,99	129.689,44	673,90	-241.644,69	1.378,88	2.584.720
RS D	802.369,06	14,10	-209.600,56	208.564,35	-916,63	-373.861,67	1.937,86	713.825,9
RS E	-437.833,26	-10,23	-36.948,91	-82.350,94	727,81	-200.931,78	2.696,94	923.620,59
RS F	1.437.571,65	2,39	-88.215,49	-39.359,30	1.704,54	-292.332,81	-3.473,38	1.145.787
RS G	1.220.372,56	-11,01	-200.215,67	90.348,45	1.642,66	-399.319,85	2.757,25	2.092.839

Setelah mendapatkan hasil estimasi, hasilnya dibandingkan terhadap nilai aktualnya dengan menghitung AER pada masing-masing proyek rumah sakit menggunakan persamaan (5). Contoh perhitungan nilai AER pada RS A untuk kebutuhan beton struktur sebagai berikut.

$$\text{Absolute Error Rate (AER)} = \frac{|14.057,82 - 8.352,39|}{8.352,39} \times 100 = 68,30$$

Nilai AER pada masing-masing rumah sakit dapat dilihat pada tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4. Hasil estimasi analisis regresi multilinier

Model	Beton Struktur			Besi Tulangan		
	Estimasi (m ³)	Aktual (m ³)	AER	Estimasi (kg)	Aktual (kg)	AER
RS A	14.057,82	8.352,39	68,31	1.505.434	1.214.901	23,91
RS B	8.235,11	4.483,3	83,68	1.372.004	1.204.239	13,93
RS C	8.778,88	25.490,1	65,56	2.584.720	3.357.837	23,02
RS D	-5.772,16	6.341,15	191,03	713.825,9	1.211.940	41,10
RS E	3.775,11	6.774,77	44,28	923.620,59	1.062.984	13,11
RS F	-3.019,57	8.496,77	135,54	1.145.787	1.688.699	32,15
RS G	18.563,97	11.410,31	62,69	2.092.839	1.789.724	16,94
	MAER		93,01	MAER		23,40

Setelah mendapatkan nilai AER pada setiap model rumah sakit, nilai MAER dapat diperoleh dengan menghitung rata-rata nilai AER menggunakan persamaan (6) sehingga didapatkan nilai MAER untuk kebutuhan beton struktur dan besi tulangan berturut-turut sebesar 93,01 dan 23,40. Nilai MAER juga tercantum pada tabel 4.

Hasil estimasi regresi multilinier pada tabel 4 terdapat hasil yang nilainya dibawah nol seperti pada model proyek RS D yang nilainya adalah -5.772,16 m³ dan RS F yang nilainya adalah -3.019,57 m³. Ini berarti *dataset* pada persamaan regresi yang dibuat untuk menguji variabel RS D dan RS F berada diluar rentang persamaan regresinya. Oleh sebab itu, terdapat *dataset* yang seharusnya tidak digunakan supaya hasil estimasinya tidak dibawah nol.

Maka dari itu, *dataset* yang tidak dimasukkan dalam perhitungan untuk memperoleh persamaan regresi adalah *dataset* RS C dikarenakan nilai aktualnya yang sangat besar melebihi model lainnya sehingga mempengaruhi persamaan regresi. Setelah *dataset* RS C tidak digunakan dalam seluruh perhitungan analisis regresi, maka didapatkan hasil estimasi analisis regresi multilinier pada tabel 5 sebagai berikut.

Tabel 5 Hasil estimasi analisis regresi multilinier setelah koreksi

Model	Beton Struktur			Besi Tulangan		
	Estimasi (m ³)	Aktual (m ³)	AER	Estimasi (kg)	Aktual (kg)	AER
RS A	9.027,93	8.352,39	8,09	1.456.411	1.214.901	19,88
RS B	2.995,61	4.483,3	33,18	492.665	1.204.239	59,09
RS C	8.778,88	25.490,1	65,56	2.584.721	3.357.837	23,02
RS D	7.898,65	6.341,15	24,56	1.989.651	1.211.940	64,17
RS E	6.040,84	6.774,77	10,83	961.626,4	1.062.984	9,54
RS F	9.015,32	8.496,77	6,10	1.557.398	1.688.699	7,78
RS G	10.459,28	11.410,31	8,33	1.445.558	1.789.724	19,23
	MAER		22,38	MAER		28,91

Setelah *dataset* RS C dihilangkan dari persamaan regresi tiap model, nilai MAER untuk kebutuhan beton struktur menurun. Ini berarti bahwa *dataset* proyek RS C memang merupakan *dataset* yang tidak biasa /*outlier*. Nilai MAER yang diperoleh setelah dikoreksi untuk beton struktur dan besi tulangan berturut-turut sebesar 22,38 dan 28,91. Nilai MAER ini dapat diterima untuk dijadikan sebagai estimasi kebutuhan dalam rentang *budget estimate* menurut PMBOK.

Namun terdapat hal yang perlu diperhatikan yaitu pada kebutuhan besi tulangan karena terdapat kenaikan nilai AER pada RS B dan RS D. Kenaikan AER pada RS B disebabkan oleh rasio besi tulangan terhadap beton struktur yang tinggi yaitu sekitar 260 kg/m³ dibandingkan dari model proyek lainnya yang lebih rendah yaitu sekitar 150 – 200 kg/m³.

Lalu, kenaikan AER pada RS D disebabkan oleh persamaan regresi dari proyek RS A, B, E, F, dan G. Kenaikan AER ini sebenarnya merupakan kenaikan hasil estimasi dari analisis regresi sebelum dan setelah dikoreksi. Hasil estimasi besi tulangan pada proyek RS D sebelum dikoreksi sebesar 713.825,9 kg. Sedangkan hasil estimasi besi tulangan setelah dikoreksi sebesar 1.989.651 kg. Dengan kata lain, hasil estimasi proyek RS D sebelum dikoreksi berada

dibawah nilai aktual dan kemudian naik diatas nilai aktual setelah dikoreksi. Ini disebabkan oleh *dataset* RS C yang dihilangkan dari persamaan regresi,

4. KESIMPULAN

Estimasi kebutuhan beton struktur dan besi tulangan telah dilakukan dengan metode analisis regresi multilinier. Nilai MAER untuk kebutuhan beton struktur dan besi tulangan berturut-turut sebesar 22,38 dan 28,91. Nilai MAER ini dapat diterima sebagai *budget estimate* dalam PMBOK dimana nilainya berada pada rentang -10 persen sampai +25 persen untuk proyek yang sudah memiliki gambar skematik dan *layout*. Namun hal yang harus diperhatikan bahwa dalam estimasi menggunakan data proyek-proyek sebelumnya, nilai MAER ini diperoleh setelah menghilangkan proyek RS C dari persamaan regresi pada semua proyek.

Lalu, kenaikan nilai MAER juga disebabkan oleh nilai AER pada proyek RS B dan RS D. Hal ini dikarenakan rasio besi tulangan terhadap beton struktur yang agak tinggi dibandingkan rasio dari proyek lainnya.

Untuk penelitian selanjutnya, estimasi kebutuhan disarankan agar dilakukan untuk tipe-tipe bangunan lainnya, seperti apartemen, perkantoran, perumahan dan lainnya. Sementara itu, penelitian lain juga dapat dilakukan yaitu dengan perolehan estimasi kebutuhan secara nonlinier dengan metode yang lebih rumit seperti *artificial neural network*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahn, J., Ji, S. H., Ahn, S. J., Park, M., Lee, H. S., Kwon, N., ... & Kim, Y. (2020). Performance evaluation of normalization-based CBR models for improving construction cost estimation. *Automation in Construction*, 119, 103329.
- Arafa, M., & Alqedra, M. (2011). Early Stage Cost Estimation of Buildings Construction Projects Using Artificial Neural Networks. *Journal of Artificial Intelligence*, 4(1), 63-75.
- Dewanti, R., Aminullah, A., & Priosulistyo, H. (2021). Estimasi Biaya Struktur Gedung Rumah Sakit Dengan Bentuk Persegi Panjang Menggunakan Metode Artificial Neural Network. *Journal of Civil Engineering and Planning*, 2(2), 139-149.
- Garcia de Soto, B., Adey, B. T., & Fernando, D. (2017). A Hybrid Methodology To Estimate Construction Material Quantities At An Early Project Phase. *International Journal of Construction Management*, 165-196.
- Permatasari, S. N., Nugroho, A. S., & Supriyadi, B. (2023). Model Persamaan Kebutuhan Material Baja Tulangan dan Beton Struktur Bangunan Gedung Berdasarkan Hasil Analisis Software Cubicost. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 21(2), 161-170.
- Prathama, A. Y., Aminullah, A., & Saputra, A. (2017). Pendekatan ANN (Artificial Neural Network) Untuk Penentuan Prosentase Bobot Pekerjaan Dan Estimasi Nilai Pekerjaan Struktur Pada Rumah Sakit Pratama. *Jurnal Teknosains*, 7(1), 14-25.
- Project Management Institute. (2021). *The Standard for Project Management and A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*. Pennsylvania: Project Management Institute, Inc.
- Riduwan dan Sunarto. (2017). *Pengantar Statistika untuk Penelitian: Pendidikan Sosial Ekonomi Komunikasi dan Bisnis*. Bandung: Alfabeta.
- Soeharto, I. (1999). *Manajemen Proyek Dari Konseptual sampai Operasional Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Uysal, F., & Sonmez, R. (2023). Bootstrap Aggregated Case-Based Reasoning Method for Conceptual Cost Estimation. *Buildings*, 13(3), 651.

