

Model Persamaan Kebutuhan Material Baja Tulangan dan Beton Struktur Bangunan Gedung Berdasarkan Hasil Analisis *Software Cubicost*

Syafira Nurul Permatasari¹, Arief Setiawan Budi Nugroho^{1*}, Bambang Supriyadi¹

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta¹

Koresponden*, Email: arief_sbn@ugm.ac.id

Info Artikel		Abstract
Diajukan	17 November 2022	<i>The Quantity Surveyor's role in rapidly estimating building material quantity is very much needed, especially concerning financial management and budget planning. In fact, in building construction projects, structural work contributes 30% to 50% of the total budget. Columns, beams, and floor slabs with concrete reinforcement bar constitute the structural elements that contribute the largest percentage. Hence, control over the material needs of these building components is crucial. This study aims to propose an equation model used to estimate the number of reinforcement bars and concrete materials for building constructions. The need for reinforcement steel and concrete material of four project samples has been calculated using Cubicost Software. An empirical equation model based on Multi Linear Regression Analysis was then built. The result shows that analysis using the equation model can quickly estimate the quantity needed of the steel and concrete with a range of error -11,15% to 5,58%, which is relatively categorized as a budget estimate method.</i>
Diperbaiki	04 Februari 2023	
Disetujui	16 Februari 2023	

Keywords: model, reinforcement steel, concrete, quantity take off, building construction, structural work

Abstrak
Peranan *Quantity Surveyor* dalam mengestimasi kebutuhan bangunan gedung secara cepat sangat diperlukan khususnya terkait pengelolaan keuangan dan perencanaan anggaran. Dalam proyek konstruksi bangunan gedung, pekerjaan struktur berkontribusi 30% sampai dengan 50% dari total nilai anggaran proyek. Struktur kolom, balok dan pelat lantai dengan material penyusun baja tulangan dan beton menjadi elemen struktur yang menyumbang persentase terbesar. Untuk itu pengendalian terhadap kebutuhan dari setiap pekerjaan struktur perlu diperhatikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui model persamaan yang digunakan untuk mengestimasi kebutuhan volume beton dan baja tulangan bangunan gedung. Kebutuhan volume beton dan baja tulangan pada empat sampel bangunan gedung dihitung menggunakan *Software Cubicost*. Model persamaan kebutuhan volume beton dan baja tulangan dikembangkan berdasarkan Analisis Regresi Multi Linier dari data keluaran hasil *modelling Software Cubicost*. Hasil analisis menunjukkan bahwa kebutuhan baja tulangan dan beton dihitung berdasarkan model persamaan terhadap keluaran *software Cubicost* memiliki nilai *error* sebesar -11,15% sampai dengan 5,58% yang mana secara *relative* masuk kategori metode *budget estimate*.

Kata kunci: model, baja tulangan, beton, volume pekerjaan, bangunan gedung, pekerjaan struktur

1. Pendahuluan

Siklus proyek konstruksi merupakan rangkaian kegiatan konstruksi yang dilakukan dari awal inisiasi pekerjaan dilanjutkan dengan penambahan tipe dan intensitasnya hingga berakhir dengan terbentuknya wujud fisik bangunan. Pada setiap tahapannya proyek konstruksi memiliki tingkat kompleksitas dan dimensi permasalahan serta kekhasan jadwal maupun anggaran yang dibutuhkan [1]. Siklus proyek konstruksi secara garis besar terdiri dari tahap inisiasi, perencanaan, pelaksanaan, penutupan dan organisasi [2]. Tahap perencanaan merupakan tahap di mana sebagian besar keputusan strategi dan pembiayaan proyek konstruksi ditentukan [3].

Bangunan gedung merupakan salah satu wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi setelah melalui beberapa tahapan. Pada

tahap perencanaan seluruh perencanaan termasuk rancangan elemen struktur dan dokumen pendukung secara sistematis dan berurutan dilakukan dan diwujudkan dalam suatu dokumen *Detail Engineering Design* (DED). Dokumen DED berisi dokumen-dokumen antara lain gambar detail perencanaan, spesifikasi serta estimasi volume item pekerjaan yang harus dilakukan.

Dalam pelaksanaan proyek konstruksi, estimasi nilai pekerjaan merupakan pengetahuan mendasar yang wajib dimiliki oleh seorang *Quantity Surveyor* (QS). Terdapat tiga metode estimasi yang dapat dilakukan yaitu *order of magnitude estimate*, *budget estimate* dan *definitive estimate* [4]. *Order of magnitude estimate* memberikan perkiraan biaya kasar proyek dengan akurasi -25% sampai +75%, *budget estimate* memperhitungkan nilai uang ke dalam

rencana biaya dengan akurasi -10% sampai +25%, sedangkan *definitive estimate* mendasarkan pada detail pembelian dan estimasi biaya aktual dengan akurasi -5% sampai +10%. Sehubungan kemungkinan terjadinya perubahan-perubahan baik berupa penambahan atau pengurangan kuantitas maupun pertimbangan lain, dalam beberapa kasus estimasi nilai proyek perlu diikuti dengan langkah pengecekan ataupun tindakan estimasi ulang [5].

Peranan QS dalam memperkirakan kebutuhan sumber daya proyek konstruksi sangat diperlukan khususnya terkait pengelolaan keuangan dan perencanaan anggaran [6]. Hal yang paling mendasar yang wajib dimiliki oleh seorang QS adalah pemahaman terhadap konsep, fakta-fakta dan informasi-informasi yang diperoleh dari mengikuti pendidikan atau riwayat pengalaman. Seorang QS juga dituntut memiliki keahlian untuk melakukan tugas dan tanggung jawab secara efektif dan efisien [5]. *Bill of Quantity* (BoQ) atau Rencana Anggaran Biaya (RAB) merupakan produk utama yang diandalkan dari layanan seorang QS. *Building Information Modelling* (BIM) merupakan salah satu sistem berupa teknologi yang mampu melakukan simulasi informasi berupa gambaran digital dari karakteristik fisik dan fungsional pada suatu bangunan yang mengandung seluruh informasi terkait komponen sebagai dasar pengambilan keputusan dalam durasi siklus hidup mulai dari inisiasi hingga penghapusan [7].

Dalam proyek konstruksi bangunan gedung, pekerjaan struktur berkontribusi 30% – 50% dari total nilai anggaran proyek [8]. Struktur kolom, balok dan pelat lantai dengan material penyusun baja tulangan dan beton menjadi elemen struktur yang menyumbang persentase terbesar. Untuk itu pengendalian terhadap kebutuhan dari setiap pekerjaan struktur perlu dicermati. Rasio struktur dapat digunakan untuk menghitung estimasi kebutuhan pada bangunan gedung [9]. Rasio struktur dapat berasal dari hasil model bangunan gedung. Model merupakan representasi dari sebuah objek yang mewakili suatu kelompok di mana bentuk model tersebut sudah dibuat lebih sederhana dan mudah dipelajari [10]. Pada beberapa kasus model dapat dilakukan dengan pendekatan metode analisis regresi untuk mendeteksi hubungan suatu variabel dengan variabel lain [11]. Hubungan antar variabel tersebut umumnya dalam bentuk persamaan empiris baik linier maupun non linier.

Model persamaan kebutuhan baja tulangan pernah dilakukan oleh peneliti terdahulu dengan variabel bebas dan variabel terikat yang berbeda-beda. Model persamaan kebutuhan baja tulangan untuk kolom dengan luas lantai sebagai variabel terikat dan jumlah kolom, luas penampang, volume beton dan jumlah tulangan kolom sebagai variabel

bebas, hasil model penelitian menyimpulkan bahwa luas lantai bukan merupakan prediktor yang baik untuk menentukan kebutuhan volume beton dan baja tulangan [12]. Model persamaan dengan variabel panjang *sloof*, luas penampang dan *respons spectral* gempa pernah dikembangkan untuk menghitung rasio kebutuhan baja tulangan struktur *sloof*, yang mana variabel *respons spectral* gempa memberikan pengaruh paling signifikan [13]. Hasil penelitian lain terkait optimasi dimensi dan rasio tulangan minimum balok dan kolom suatu bangunan hotel menyebutkan bahwa semakin meningkatnya percepatan gempa, jumlah lantai, tinggi antar lantai, bentang balok serta semakin lunaknya jenis tanah akan mempengaruhi peningkatan kebutuhan luas dimensi dan luas tulangan kolom maupun balok [14]. **Tabel 1** menunjukkan estimasi kebutuhan baja tulangan untuk konstruksi beton.

Tabel 1. Estimasi kebutuhan baja tulangan untuk konstruksi beton [15]

Jenis Konstruksi	Kg/m ³	Volume (%)
Kolom	150 – 200	2,0 – 3,0
Balok	100 – 150	1,5 – 2,0
Pelat	80 – 100	0,5 – 1,5
Tiang Pancang	80 – 100	2,0 – 3,0
Rakit (<i>Raft</i>)	90 – 120	-

Pada proyek bangunan gedung dengan sistem struktur beton bertulang, kecepatan dan ketepatan perhitungan kebutuhan volume baja tulangan dan material beton merupakan isu penting yang perlu diselesaikan. Beberapa kajian terkait perhitungan rasio kebutuhan baja tulangan terhadap volume material beton telah dikembangkan. Nilai rasio kebutuhan baja tulangan terhadap beton sangat beragam, hal ini kemungkinan terjadi karena terdapat pengaruh jenis proyek, perencana struktur, peraturan zona gempa [16] dan fungsi bangunan. Rasio kebutuhan baja tulangan terhadap beton untuk proyek apartemen antara 141,26 – 165,67 kg/m³, sedangkan proyek hotel antara 141,12 – 156,29 kg/m³ [17]. Rasio kebutuhan baja tulangan pada komponen struktur bawah yaitu fondasi untuk zona gempa 15 dan 10 mempunyai rasio rata-rata sebesar 189,04 kg/m³ dan 183,40 kg/m³ [18]. Namun demikian, penelitian yang membahas mengenai analisis model persamaan kebutuhan beton dan baja tulangan bangunan gedung pada komponen struktur kolom, balok dan pelat lantai belum pernah diteliti. Model persamaan kebutuhan beton dan baja tulangan perlu diketahui dan diharapkan hasil model persamaan dapat selalu *ter-update* dengan baik, serta memberikan hasil akurat. Penelitian ini mempunyai tujuan untuk mengetahui hasil analisis model persamaan kebutuhan

beton dan baja tulangan bangunan gedung pada komponen struktur kolom, balok dan pelat lantai.

2. Metode

Penelitian ini mengambil studi kasus proyek-proyek konstruksi bangunan gedung di lingkungan Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta. Empat gedung yang dijadikan sebagai objek penelitian adalah Gedung *Animal Health Care (AHC)* Prof. Soeparwi, Gedung Pusat Studi Lingkungan Hidup & *Education for Sustainable Development (PSLH)*, Gedung A Pasca sarjana Fakultas Kedokteran dan Gedung A Fakultas Hukum.

Data penelitian

Data sekunder berupa dokumen *Detail Engineering Design (DED)* yang berisi gambar denah kolom, balok, pelat lantai dan detail penulangan. Kebutuhan baja tulangan dan beton dihitung menggunakan bantuan perangkat lunak berbasis *Building Information Modelling (BIM)* yaitu Cubicost TAS (*Take-off Architecture & Structure*) dan TRB (*Take-off reinforcement Bar*). Dua *software* ini memiliki kelebihan berupa sistem otomatis yang singkat dan tidak membutuhkan waktu yang lama dalam melakukan perhitungan kebutuhan baja tulangan dan beton jika dibandingkan dengan metode manual [19].

Cubicost TAS dan TRB diproduksi oleh Glodon di Beijing, Cina. Keduanya merupakan rangkaian aplikasi khusus untuk perhitungan *quantity take off* yang sangat diperlukan dalam bidang jasa konstruksi khususnya mereka yang berprofesi sebagai *Quantity Surveyor* [20]. Cubicost TAS berfokus untuk menghitung kebutuhan beton dalam satuan meter kubik sementara Cubicost TRB berfokus untuk menghitung kebutuhan baja tulangan dalam satuan berat.

Tahapan pengolahan data menggunakan Cubicost TAS terdiri dari tiga tahapan meliputi *input drawing*, *identify/training* dan *calculate*. Pada Cubicost TAS, *input drawing* berupa DED yakni gambar denah dan dimensi. Gambar AutoCad menjadi acuan untuk pemodelan. *Identify/training* dilakukan untuk mendeteksi ukuran dan letak komponen. Tahap ini merupakan tahapan yang menghasilkan pemodelan 3D. Sementara itu sebagai tahapan terakhir, *Calculate* memproses perhitungan kebutuhan volume beton berdasarkan model untuk masing-masing elemen.

Pada Cubicost TRB, *input drawing* diambil dari pemodelan 3D yang berasal dari Cubicost TAS. *Identify/training* dilakukan dengan cara melakukan data *entry* dan deteksi detail tulangan. *Calculate* pada Cubicost TRB menghasilkan *output* kebutuhan berat baja tulangan yang telah memperhitungkan standar detail tulangan berupa kait standar, diameter bengkokan, penempatan tulangan dan selimut beton [21].

Analisis Regresi Linier Berganda

Analisis regresi linier berganda merupakan suatu analisis peramalan nilai yang bersumber dari pengaruh satu variabel bebas atau lebih terhadap variabel terikat yang bertujuan untuk mengetahui ada atau tidak hubungan fungsi atau hubungan persamaan linier antara variabel bebas terhadap variabel terikat [22]. Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahan atau timbulnya variabel terikat [23]. Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kebutuhan baja tulangan dan beton, sedangkan variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi besar atau kecilnya kebutuhan baja tulangan dan beton seperti luas lantai, tinggi kolom, jumlah lantai, jumlah kolom, luas pelat dan rasio bentang pelat. Hubungan fungsi dalam regresi linier berganda dinyatakan dalam Persamaan 1.

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + \dots + b_n X_n \quad (1)$$

Di mana : Y = variabel terikat a = konstanta regresi

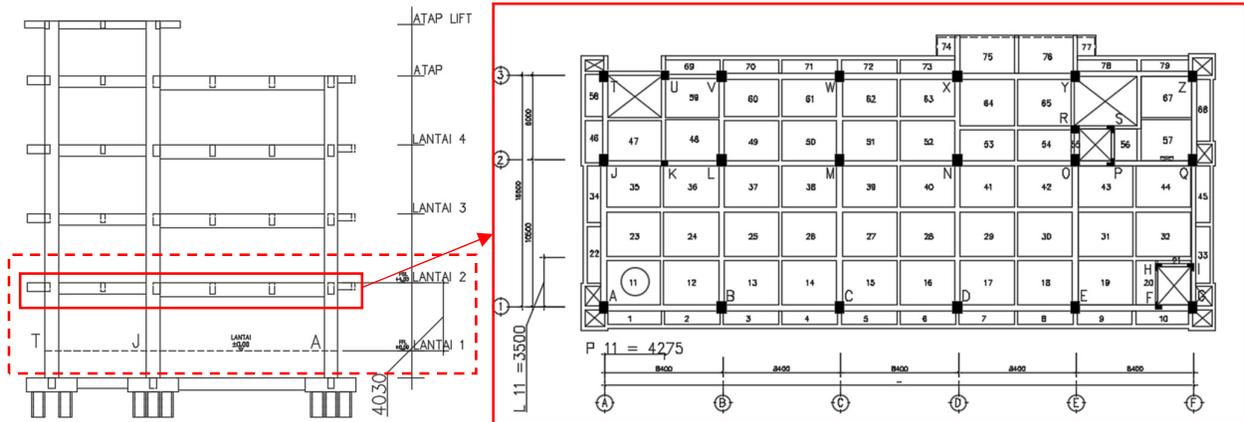
X = variabel bebas b = koefisien regresi

Ketepatan model persamaan diukur berdasarkan nilai kecocokan [23], antara lain nilai uji koefisien determinasi (R^2), uji-F statistik simultan dan uji-t statistik parsial.

3. Hasil dan Pembahasan

Variabel Penelitian

Pengelompokan variabel penelitian terdiri dari variabel terikat kebutuhan baja tulangan kolom & balok (Y1), kebutuhan baja tulangan pelat lantai (Y2), kebutuhan beton kolom & balok (Y3), dan kebutuhan beton pelat lantai (Y4). Variabel Y1 dan Y3 memiliki variabel bebas yang sama yakni luas lantai (X_1), tinggi kolom (X_2), jumlah lantai yang dipikul (X_3), jumlah kolom (X_4) dan luas pelat rata-rata (X_5). Seperti halnya Y1 dan Y3, Variabel Y2 dan Y4 juga memiliki variabel bebas yang sama yaitu luas lantai (X_1), luas pelat rata-rata (X_5) dan rasio rata-rata bentang pelat (X_6).



Sumber: Detail Engineering Desain proyek PSLH

Gambar 1. Objek Penelitian Gedung PSLH lantai 1

Besaran nilai variabel-variabel bebas diperhitungkan pada setiap lantai bangunan. Luas lantai (X_1) merupakan jumlah total luas pelat lantai. Tinggi kolom (X_2) merupakan tinggi yang diukur dari *floor to floor*. Jumlah lantai yang dipikul (X_3) adalah jumlah seluruh lantai yang dipikul oleh kolom yang mana kolom dengan tinjauan lantai yang sama diasumsikan bekerja bersama-sama untuk memikul jumlah lantai yang sama. Jumlah kolom (X_4) merupakan total jumlah seluruh kolom. Luas pelat lantai rata-rata (X_5) merupakan rata-rata hasil perkalian bentang panjang (P) dan bentang pendek (L) pelat lantai. Bentang-bentang tersebut diukur dari titik tengah (as) tumpuan ke titik tengah tumpuan lainnya. Rasio rata-rata bentang pelat (X_6) merupakan rata-rata rasio bentang pelat P/L .

Gambar 1. menunjukkan salah satu gambar DED untuk Gedung PSLH lantai 1. Berdasarkan gambar tersebut nilai variabel-variabel bebas ditentukan berdasarkan Persamaan 2 sampai dengan Persamaan 6.

- a. Luas lantai (X_1)

$$\sum_i^n A_i \tag{2}$$

$$X_1 = \sum_{i=1}^{n=79} (P_1 \times L_1) + \dots + (P_{79} \times L_{79}) = 822,52 \text{ m}^2$$
- b. Tinggi kolom (X_2) : tinggi *floor 1 to floor 2* = 4,03 m

- c. Jumlah lantai yang dipikul (X_3) : jumlah lantai yang dipikul kolom A,J,T simultan = 4 lantai (lantai 2, lantai 3, lantai 4 dan lantai 5)

$$X_3 = \sum n \text{ lantai} \tag{3}$$

- d. Jumlah kolom (X_4) : kolom A-Z = 26 kolom

$$X_4 = \sum n \text{ kolom} \tag{4}$$

- e. Luas pelat lantai rata-rata (X_5)

$$\sum_i^n \frac{\text{Area Pelat lantai}_i}{n} \tag{5}$$

$$X_5 = \sum_{i=1}^{n=79} \frac{(P_1 \times L_1) + \dots + (P_{79} \times L_{79})}{79} = 10,68 \text{ m}^2$$

- f. Rasio bentang pelat rata-rata (X_6)

$$\frac{\sum_i^n \frac{P_i}{L_i}}{n} \tag{6}$$

$$X_6 = \frac{\sum_{i=1}^{n=79} \left(\frac{P_1}{L_1} \right) + \dots + \left(\frac{P_{79}}{L_{79}} \right)}{79} = 1,62$$

Berdasarkan data tersebut maka disusun variabel-variabel terikat dan variabel-variabel bebas untuk semua objek penelitian seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Variabel terikat untuk kebutuhan baja tulangan dan beton pada kolom, balok dan pelat lantai didapatkan dari hasil Cubicost TAS dan TRB.

Tabel 2. Data Variabel Terikat dan Variabel Bebas

No	Nama Gedung	Lt	Baja Tulangan		Beton		Luas Lt (X_1)	Tinggi kolom (X_2)	Jml Lt. Yang dipikul (X_3)	Jml kolom (X_4)	Luas pelat lantai rata-rata (X_5)	Rasio bentang pelat rata-rata (X_6)
			Kolom & Balok (Y1)	Pelat Lantai (Y2)	Kolom & Balok (Y3)	Pelat Lantai (Y4)						
1	AHC Prof. Soeparwi	1	19.616,89	9.905,09	99,36	66,25	690,16	4,08	2	29	16,43	2,12
		2	17.994,09	7.333,76	89,80	49,05	492,80	4,16	1	26	18,95	2,82
		3	15.019,89	3.032,48	70,82	20,22	227,77	4,16	0	23	4,95	2,52

No	Nama Gedung	Lt	Baja Tulangan		Beton		Luas Lt (X ₁)	Tinggi kolom (X ₂)	Jml Lt. Yang dipikul (X ₃)	Jml kolom (X ₄)	Luas pelat lantai rata-rata (X ₅)	Rasio bentang pelat rata-rata (X ₆)
			Kolom & Balok (Y1)	Pelat Lantai (Y2)	Kolom & Balok (Y3)	Pelat Lantai (Y4)						
2	PSLH	1	37.664,41	12.057,93	139,44	80,70	822,52	4,03	4	26	10,68	1,62
		2	38.523,37	11.390,20	147,02	76,83	787,82	4,08	3	26	10,94	1,75
		3	38.193,68	11.720,33	147,52	77,44	787,82	4,08	2	26	10,94	1,75
		4	34.752,25	11.556,11	141,78	84,33	787,82	4,08	1	26	10,94	1,75
		5	8.460,93	2.925,33	31,43	19,11	102,77	3,25	0	11	6,66	1,94
3	Fakultas Hukum	b	55.054,22	12.469,37	186,02	90,72	851,25	3,05	7	55	16,06	1,93
		1	51.126,28	15.623,85	234,73	110,0	1101,1	4,00	6	55	16,43	1,81
		2	39.994,85	11.893,30	204,22	83,33	856,67	4,00	5	49	10,45	1,49
		3	42.668,41	11.889,63	173,32	83,76	856,67	4,00	4	50	10,45	1,49
		4	35.359,18	11.528,20	163,48	81,27	825,24	4,00	3	42	10,32	1,46
		5	35.561,92	11.515,16	163,48	81,27	825,24	4,00	2	42	10,32	1,46
		6	34.529,38	12.633,26	168,84	88,46	936,25	4,00	1	42	11,56	1,27
7	25.089,09	6.334,47	113,17	41,34	477,29	4,05	0	27	9,36	1,37		
4	Pascasarjana Fakultas Kedokteran	b	49.863,75	8.590,74	140,14	53,27	527,67	3,90	8	34	12,56	1,13
		1	43.980,52	7.926,63	159,72	48,73	506,09	5,40	7	22	12,65	0,95
		2	39.224,69	8.850,42	120,98	54,89	527,93	4,20	6	22	12,88	0,99
		3	38.988,71	8.318,87	120,98	52,30	502,01	4,20	5	22	12,87	0,99
		4	39.072,82	8.557,25	120,98	53,82	517,13	4,20	4	22	12,93	0,98
		5	37.919,05	8.737,96	120,98	55,12	526,85	4,20	3	22	12,85	0,97
		6	35.877,21	8.737,96	120,98	55,12	526,85	4,20	2	22	12,85	0,97
		7	35.336,15	8.861,93	120,98	55,94	532,08	4,20	1	22	12,98	0,97
8	34.270,66	6.911,86	110,04	42,93	391,21	4,20	0	21	9,31	1,16		

Analisis Regresi Linier Berganda

Analisis regresi linier berganda berdasarkan data hasil perhitungan seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2**, diperoleh model persamaan untuk setiap variabel terikat dinyatakan dalam Persamaan 7 sampai dengan 10.

$$Y1 = 13.327,92 + 21,6 X1 + 1016,34 X2 + 3074,42 X3 - 59,27 X4 - 299,96 X5 \quad (7)$$

$$Y2 = 1718,84 + 12,11 X1 + 87,71 X5 - 619,71 X6 \quad (8)$$

$$Y3 = -61,03 + 0,10 X1 + 23,6 X2 + 4,21 X3 + 1,42 X4 - 1,54 X5 \quad (9)$$

$$Y4 = 2,54 + 0,09 X1 + 0,24 X5 - 0,64 X6 \quad (10)$$

Uji R² (Koefisien Determinasi) dan Uji F (Signifikansi Simultan)

Hasil uji R² dan uji F dapat dilihat pada **Tabel 3**. Nilai R² untuk variabel terikat Y1, Y2, Y3 dan Y4 memiliki nilai lebih besar dari 0,75 yang mana menunjukkan kemampuan variabel bebas dalam menerangkan variabel terikat yang kuat [24]. Sementara itu hasil analisis nilai signifikansi uji-F (Sig.F) variabel terikat Y1,Y2,Y3 dan Y4 diperoleh nilai 0,000. Dengan nilai Sig.F kurang dari 0,05 maka secara bersama-sama variabel X₁, X₂, X₃, X₄ dan X₅ memiliki 95% kemungkinan dalam mempengaruhi nilai variabel Y1 dan

Y3, sedangkan variabel X₁, X₅ dan X₆ memiliki 95% kemungkinan dalam mempengaruhi Y2 dan Y4.

Tabel 3. Hasil uji R² dan uji F untuk Y1, Y2, Y3 dan Y4

Variabel terikat	R ²	Tingkat Kemampuan	Sig. F
Baja tulangan kolom & balok (Y1)	0,755	Kuat	0,000
Baja tulangan pelat lantai (Y2)	0,982	Kuat	0,000
Beton kolom & balok (Y3)	0,933	Kuat	0,000
Beton pelat lantai (Y4)	0,980	Kuat	0,000

Uji t (Signifikansi Individual)

Hasil uji t untuk variabel X₁, X₂, X₃, X₄ dan X₅ dapat dilihat pada **Tabel 4**. Nilai sig.t lebih kecil dari 0,05 menunjukkan bahwa variabel bebas secara individual mempengaruhi variabel terikat dalam taraf kepercayaan 95%. Hasil uji t untuk variabel luas lantai (X₁) dan variabel jumlah lantai yang dipikul (X₃) menunjukkan bahwa keduanya merupakan variabel bebas yang 95% berpotensi mempengaruhi nilai volume baja tulangan kolom dan balok

(Y1). Nilai kedua variabel tersebut masing-masing adalah 0,036 dan 0,000. Sementara itu kebutuhan volume beton kolom & balok (Y3) dengan tingkat kepercayaan 95% dipengaruhi oleh variabel luas lantai (X₁), tinggi kolom (X₂), jumlah lantai yang dipikul (X₃) dan jumlah kolom (X₄).

Tabel 4. Hasil uji t untuk Y1 dan Y3

Variabel bebas	Baja tulangan kolom & balok (Y1)	Beton kolom & balok (Y3)
Luas lantai (X ₁)	0,036	0,000
Tinggi kolom (X ₂)	0,782	0,004
Jumlah lantai yang dipikul (X ₃)	0,000	0,003
Jumlah kolom (X ₄)	0,771	0,002
Luas pelat rata-rata (X ₅)	0,533	0,123

Hasil uji t untuk pengaruh variabel X₁, X₅ dan X₆ terhadap volume baja tulangan dan beton pelat lantai (Y2 & Y4) ditunjukkan pada **Tabel 5**. Pada tingkat kepercayaan 95%, luas lantai (X₁), luas pelat rata-rata (X₅) dan rasio bentang pelat rata-rata (X₆) berpengaruh terhadap kebutuhan baja tulangan pelat lantai, sedangkan volume beton pelat lantai (Y4) secara signifikan hanya dipengaruhi oleh luas lantai (X₁).

Tabel 5. Hasil uji t untuk Y2 dan Y4

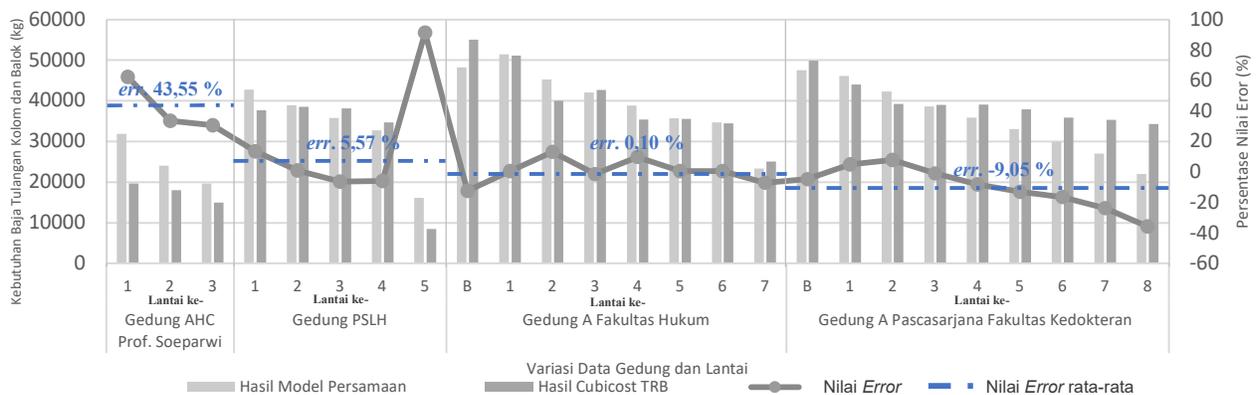
Variabel bebas	Baja tulangan pelat lantai (Y2)	Beton pelat lantai (Y4)
Luas lantai (X ₁)	0,000	0,000
Luas rata-rata pelat (X ₅)	0,002	0,647
Rasio bentang pelat rata-rata (X ₆)	0,010	0,350

Nilai Error Model Persamaan

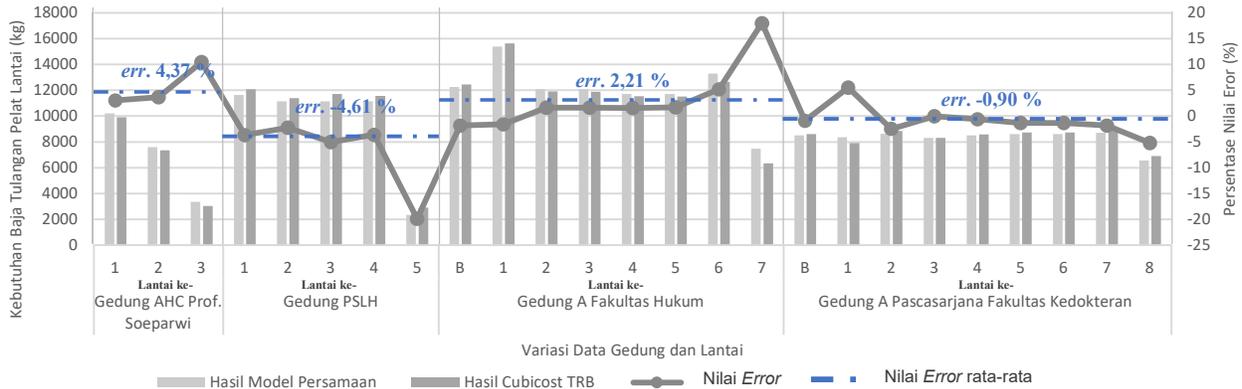
Empat gedung yang dijadikan objek penelitian memiliki jumlah tingkat bangunan yang berbeda-beda. Hal tersebut dalam kenyataannya mempengaruhi nilai *error* hasil perhitungan kebutuhan baja tulangan kolom & balok (Y1) dan kebutuhan beton kolom & balok (Y3) yang diperoleh berdasarkan model persamaan empiris. Nilai *error* dihitung berdasarkan selisih perbandingan antara hasil model persamaan dengan hasil pemodelan Cubicost TAS dan TRB. Nilai *error* dapat diketahui berdasarkan Persamaan 11.

$$\text{Nilai error (\%)} = \frac{(\text{hasil model} - \text{hasil Cubicost})}{\text{hasil Cubicost}} \times 100 \quad (11)$$

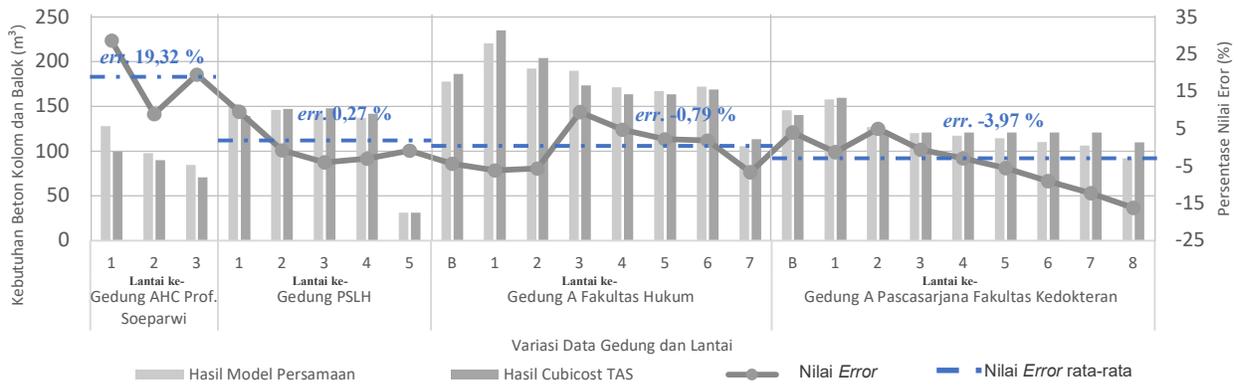
Nilai *error* model persamaan kebutuhan baja tulangan kolom & balok (Y1) ditunjukkan pada **Gambar 2**, sedangkan nilai *error* kebutuhan baja tulangan pelat lantai (Y2) ditampilkan pada **Gambar 3**. Sementara itu nilai *error* kebutuhan beton kolom & balok (Y3) ditampilkan pada **Gambar 4** dan nilai *error* kebutuhan beton pelat lantai (Y4) ditampilkan pada **Gambar 5**.



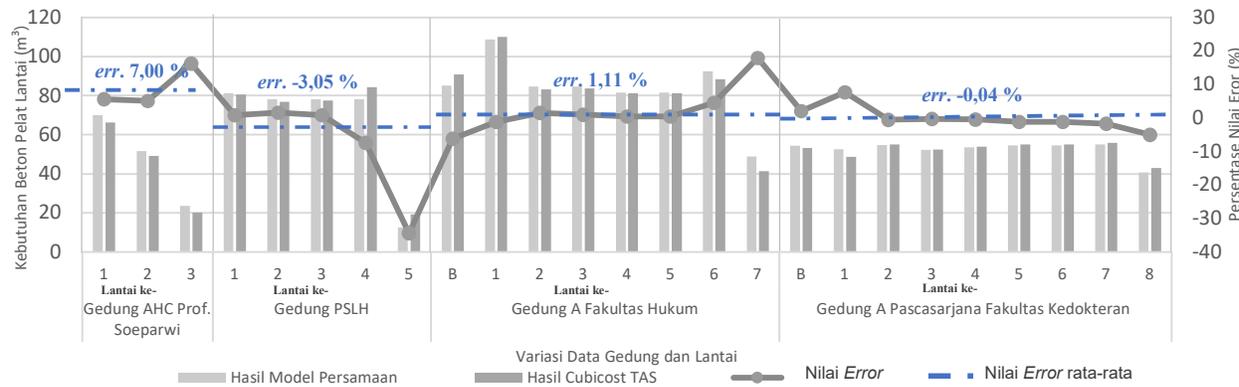
Gambar 2. Nilai *error* rata-rata untuk Baja Tulangan Kolom & Balok (Y1)



Gambar 3. Nilai error rata-rata untuk Baja Tulangan Pelat Lantai (Y2)



Gambar 4. Nilai error rata-rata untuk Beton Kolom & Balok (Y3)



Gambar 5. Nilai error rata-rata untuk Beton Pelat Lantai (Y4)

Berdasarkan Gambar 2 dan Gambar 3 dapat diketahui bahwa nilai error kebutuhan tulangan kolom & balok (Y1) dan kebutuhan beton kolom & balok (Y3) semakin kecil seiring bertambahnya jumlah tingkat bangunan. Sementara

itu Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan bahwa kebutuhan baja tulangan pelat lantai (Y2) dan beton pelat lantai (Y4) pada lantai terakhir masing-masing gedung memiliki nilai error yang umumnya besar. Hal ini terjadi

sehubungan dengan pelat beton bertulang pada tingkat lantai terakhir memiliki kecenderungan luasan yang mengecil dibanding luasan pelat lantai di bawahnya.

Jika nilai *error* diperhitungkan terhadap hasil estimasi kebutuhan baja tulangan (Y1 dan Y2) dan beton (Y3 dan Y4) untuk Gedung AHC Prof. Soeparwi, Gedung PSLH, Gedung A-Fakultas Hukum dan Gedung Pasca Sarjana Fakultas Kedokteran diperoleh nilai berturut-turut sebesar 32,66%, 3,13%, 0,58% dan -7,62% untuk kebutuhan baja tulangan dan sebesar 15,10%, -0,92%, -0,18% dan -2,82% pada kebutuhan beton seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 6**. Nilai *error* terbesar terdapat pada Gedung AHC Prof. Soeparwi dimungkinkan terjadi sehubungan fungsi bangunan tersebut berbeda dengan fungsi ketiga bangunan yang lain. Gedung AHC Prof. Soeparwi difungsikan sebagai rumah sakit Hewan (RSH) sedangkan Gedung PSLH, Gedung A-Fakultas Hukum dan Gedung Pasca Sarjana Fakultas Kedokteran merupakan Gedung Kuliah.

Tabel 6. Nilai *error* Gedung AHC Prof. Soeparwi, Gedung PSLH, Gedung A-Fakultas Hukum dan Gedung Pasca Sarjana Fakultas Kedokteran

	Model		Cubicost		Nilai <i>Error</i>
AHC Prof. Soeparwi					
Y1 dan Y2	96.709	kg	72.902	kg	32,66 %
Y3 dan Y4	455	m ³	395	m ³	15,10 %
PSLH					
Y1 dan Y2	213.738	kg	207.244	kg	3,13 %
Y3 dan Y4	936	m ³	945	m ³	-0,92 %
A Fakultas Hukum					
Y1 dan Y2	415.674	kg	413.270	kg	0,58 %
Y3 dan Y4	2.063	m ³	2.067	m ³	-0,18 %
A Pascasarjana Fakultas Kedokteran					
Y1 dan Y2	397.257	kg	430.027	kg	-7,62 %
Y3 dan Y4	1.562	m ³	1.607	m ³	-2,82 %

Validasi Model Persamaan

Validasi model persamaan dilakukan untuk menghitung kebutuhan baja tulangan kolom & balok (Y1), kebutuhan baja tulangan pelat lantai (Y2), kebutuhan beton kolom & balok (Y3) dan kebutuhan beton pelat lantai (Y4) pada bangunan Gedung FMIPA yang merupakan gedung perkuliahan dengan 8 lantai ditambah 1 *basement*. **Tabel 7** menunjukkan nilai *error* hasil perhitungan keempat jenis volume pekerjaan pada Gedung FMIPA.

Tabel 7. Nilai *error* Gedung FMIPA

	Model		Cubicost		Nilai <i>error</i>
Y1	365.533	kg	340.951	kg	7,21 %

Y2	110.246	kg	109.683	kg	0,51 %
Total	475.779	kg	450.634	kg	5,58 %
Y3	1.449	m ³	1.650	m ³	-12,22 %
Y4	726	m ³	798	m ³	-9,07 %
Total	2.175	m ³	2.448	m ³	-11,15 %

Berdasarkan hasil perhitungan *error* pada **Tabel 7** diketahui bahwa, hasil perhitungan model persamaan empiris memberikan nilai *error* yang *relative* lebih tinggi pada analisis kebutuhan baja tulangan maupun beton untuk komponen kolom & balok yang mana secara nilai mutlak berturut turut sebesar 7,21% dan 12,22% dibandingkan nilai *error* hasil analisis kebutuhan baja tulangan dan material beton komponen pelat lantai. Secara total dari kebutuhan seluruh bangunan, nilai *error* kebutuhan baja tulangan adalah 5,58% sedangkan nilai *error* mutlak kebutuhan material beton adalah 11,15%.

4. Simpulan

Model persamaan untuk estimasi perhitungan kebutuhan material struktur beton bertulang bangunan gedung berhasil dikembangkan dengan pendekatan analisis regresi multi linear berdasarkan data keluaran hasil analisis *Software* Cubicost. Estimasi volume pekerjaan baja tulangan pada bangunan gedung kuliah menunjukkan bahwa persamaan tersebut berada pada nilai *error* -7,62% sampai dengan 3,13%. Sementara itu nilai *error* pada estimasi volume material beton *relative* lebih kecil yaitu -2,82% sampai dengan -0,18%. Namun demikian pada bangunan gedung dengan fungsi rumah sakit, model persamaan memberikan hasil yang lebih buruk dengan nilai *error* untuk perhitungan kebutuhan baja tulangan mencapai 32,66% sedangkan nilai *error* untuk perhitungan material beton 15,10%.

Validasi model persamaan terhadap bangunan gedung kuliah yang lain menunjukkan nilai *error* untuk perhitungan kebutuhan baja tulangan dan material beton berturut-turut adalah sebesar 5,58% dan -11,15%. Berdasarkan nilai hasil validasi, dengan sedikit mengesampingkan batas *error negative* yang sedikit melebihi ambang batas, model persamaan ini secara *relative* masuk kategori *budget estimate* yang memiliki tingkat akurasi -10% sampai +25%. Namun jika diterapkan untuk perhitungan estimasi kebutuhan baja tulangan dan material beton untuk gedung rumah sakit, model persamaan masuk pada kategori *Order of magnitude estimate* yang hanya dapat memberikan perkiraan biaya kasar proyek dengan akurasi -25% sampai +75%.

Kecenderungan nilai *error* kebutuhan volume baja tulangan dan material beton pada elemen balok dan kolom yang semakin mengecil dan bahkan bernilai negatif pada

lantai-lantai yang lebih tinggi dikarenakan perencanaan *Detail Engineering Design* (DED) yang cenderung menyeragamkan desain struktur balok dan kolom untuk beberapa lantai. Untuk itu, penyempurnaan model persamaan dengan hanya mempertimbangkan jumlah lantai bangunan sebagai variabel bebas dan tidak membedakan formulasi kebutuhan baja tulangan dan material beton pada setiap lantai dapat dilakukan pada studi selanjutnya.

5. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam penelitian ini, terima kasih juga kepada Pusat Pengadaan dan Logistik UGM yang membantu dalam proses pengumpulan data dan izin menggunakan *Software Cubicost*.

Daftar Pustaka

- [1] A. B. Siswanto and M. A. Salim, *Manajemen Proyek*. CV. Pilar Nusantara, 2019.
- [2] H. Dimiyati and N. Kadar, *Manajemen Proyek*. CV. Pustaka Setia, 2014.
- [3] M. R. Simanjuntak and A. Herriza, "Studi Peran Konsultan Perencana Bangunan Gedung Monumental Masjid Raya Provinsi Jawa Barat Pada Tahap Pelaksanaan Konstruksi," 2019.
- [4] M. Hastak, *Skills and Knowledge of Cost Engineering 6th Edition*, 6th Edition. Morgantown: AACE International, 2015.
- [5] S. Hansen, *Quantity Surveying: Pengantar Manajemen Biaya dan Kontrak Konstruksi*. Gramedia Pustaka Utama, 2017.
- [6] Royal Institution of Chartered Surveyors. Quantity Surveyors' Committee, *The Future Role of the Quantity Surveyor: Report*. Royal Institution of Chartered Surveyors, 1971.
- [7] F. Fakhruddin *et al.*, "Sosialisasi Aplikasi Teknologi Building Information Modelling (BIM) pada Sektor Konstruksi Indonesia," *Jurnal Tepat: Teknologi Terapan untuk Pengabdian Masyarakat*, vol. 2, no. 2, pp. 112–119, 2019.
- [8] E. F. Kusuma and B. Sugianto, "Jenis Pekerjaan yang Mendominasi Komposisi Biaya Pada Proyek Apartemen," Bachelor Thesis, Petra Christian University, Surabaya, 2019.
- [9] M. Maximilianus, "Penentuan Rasio Struktur Bangunan Untuk Estimasi Awal Biaya Konstruksi," Masters Thesis, Universitas Tarumanagara, Jakarta, 2016.
- [10] M. Achmad, *Teknik Simulasi dan Permodelan*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada, 2008.
- [11] Kadir, *Statistika Terapan: Konsep, Contoh dan Analisis Data dengan Program SPSS/Lisrel dalam Penelitian*, 3rd ed. Depok: Rajawali Pers, PT Rajagrafindo Persada, 2015.
- [12] S. Ugochukwu, O. Ogunsina, N. Agu, and M. Dadson, "Empirical Models for Predicting Reinforced Concrete Quantities for Superstructure Columns of Framed Buildings in Nigeria," *International Journal of Innovative Research and Development*, vol. 7, no. 10, pp. 176–186, Oct. 2018.
- [13] Mubarak, Tripoli, M. Azmi, and C. Mastura, "Model Kebutuhan Tulangan Sloof Beton Bertulang pada Konstruksi Bangunan Gedung Berlantai Dua," in *Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS) - 13*, 2019, pp. 705–715.
- [14] K. F. Harahap, A. Aminullah, and H. Priyosulistyo, "Pendekatan Artificial Neural Network untuk Mengestimasi Dimensi Optimum dan Rasio Tulangan Gedung," *Inersia: Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, vol. 18, no. 1, pp. 1–9, 2022, Accessed: Aug. 28, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.21831/inersia.v18i1.45481>
- [15] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat tentang Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum*. Indonesia: BN.2013/No.1374, 2013.
- [16] E. Hariyawaningsih and O. Gondokusumo, "Kajian Rasio Struktur Bangunan Bertingkat," *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan*, vol. 4, no. 1, pp. 69–82, 2020.
- [17] I. Sutanto, "Rasio Kebutuhan Beton, Besi Tulangan, dan Bekisting Untuk Pekerjaan Struktur Pada Proyek Apartemen & Hotel," *Jurnal Dimensi Utama Teknik Sipil*, vol. 3, no. 1, 2016.
- [18] F. Arfiola, N. Malahayati, and T. Tripoli, "Evaluasi Standar Kebutuhan Tulangan Komponen Struktural Pondasi Tapak Konstruksi Bangunan Gedung Pada Zonasi Gempa 15 dan 10 Provinsi Aceh," *Journal of The Civil Engineering Student*, vol. 1, no. 1, pp. 20–24, 2019.
- [19] R. Jonathan and B. Anondho, "Perbandingan Perhitungan Volume Pekerjaan Dak Beton Bertulang Antara Metode BIM Dengan Konvensional," *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, vol. 4, no. 1, pp. 271–280, 2021.
- [20] N. Rizqa and A. Dofir, "Analisis Pekerjaan Tambah Kurang Dengan Perbandingan Biaya, dan Waktu Menggunakan Metode Konvensional dan Menggunakan Software BIM," *Jurnal ARTESIS*, vol. 2, no. 1, pp. 104–109, 2022.
- [21] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 2847 2013 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*. Indonesia: Badan Standarisasi Nasional, 2013.
- [22] S. Riduwan, *Pengantar statistika untuk penelitian : pendidikan sosial ekonomi komunikasi dan bisnis*, Cet. 7, 8. Bandung: Alfabeta, 2017.
- [23] I. Ghozali, *Aplikasi analisis multivariete dengan program IBM SPSS 23*, Edisi 8., vol. Cetakan ke

- VII. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro, 2016.
- [24] J. F. Hair, C. M. Ringle, and M. Sarstedt, "PLS-SEM: Indeed a silver bullet," *Journal of Marketing Theory and Practice*, vol. 19, no. 2, pp. 139–152, Apr. 2011, doi: 10.2753/MTP1069-6679190202.