

Pemodelan Biaya Langsung Proyek Perusahaan Jasa Konstruksi PT. X dengan *Multivariate Regression*

Sulistianingrum, Irhamah, dan Muhammad Mashuri
Jurusan Statistika, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: mashuri1962@gmail.com

Abstrak—Salah satu unsur terpenting dalam bidang konstruksi adalah perkiraan biaya. Kesalahan dalam pembagian biaya proyek akan berakibat pada kerugian saat pelaksanaan proyek. Pemodelan adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk memperkirakan biaya proyek. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan biaya langsung proyek konstruksi menggunakan regresi multivariat. Data yang digunakan adalah data sekunder dari PT. X. Hasil analisis menunjukkan bahwa durasi dan nilai kontrak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap biaya langsung material, manusia dan peralatan. Jika durasi proyek bertambah 1 hari dan nilai kontrak bertambah 1 miliar maka biaya material akan bertambah sebesar 0,19209 miliar, biaya manusia (upah) bertambah sebesar 0,02933 miliar dan biaya peralatan bertambah sebesar 0,04264 miliar.

Kata Kunci—biaya langsung, biaya material, biaya manusia, biaya peralatan.

I. PENDAHULUAN

Konstruksi merupakan segala bentuk kegiatan membuat, memelihara dan memperbaiki infrastruktur seperti jalan, jembatan, gedung dan irigasi. Proses kegiatan konstruksi yang dibatasi oleh waktu dan sumber daya yang terbatas disebut dengan proyek konstruksi. Sumber daya proyek konstruksi terdiri dari 5 komponen yaitu biaya, waktu, manusia, material, dan peralatan. Salah satu unsur terpenting dalam manajemen perencanaan adalah perkiraan biaya. Secara umum perkiraan biaya digunakan untuk mengetahui besarnya biaya yang diperlukan pada pembangunan sebuah proyek maupun investasi [1]. Selain itu, perkiraan biaya juga berfungsi untuk merencanakan dan mengendalikan sumber daya proyek konstruksi lainnya seperti tenaga kerja, material, peralatan dan lainnya. Bagi kontraktor, ketepatan perkiraan biaya sangat berpengaruh pada besarnya keuntungan finansial yang akan diperoleh. Kesalahan dalam pembagian biaya proyek akan berakibat pada kerugian saat pelaksanaan proyek seperti biaya tak terduga yang tidak sesuai dengan anggaran.

Estimasi biaya dengan baik sangat diperlukan agar kesalahan dalam pembagian biaya tidak berakibat kerugian terutama pada biaya langsung. Selain menggunakan rumus-rumus yang sudah ada untuk menentukan biaya langsung, informasi lain yang mendukung juga diperlukan sebagai bahan acuan. Salah satu informasi yang dapat digunakan adalah model biaya langsung terhadap faktor-faktor yang

mempengaruhi. Metode yang digunakan untuk mendapatkan model biaya adalah *Multivariate Regression*. Namun metode ini masih jarang dilakukan pada bidang konstruksi.

Penelitian biaya langsung yang pernah dilakukan pemodelan sumber daya proyek konstruksi pada gedung sederhana dan gedung non sederhana [2]. Penelitian kedua tentang perancangan dan implementasi sistem informasi untuk menunjang estimasi biaya konstruksi pada proyek bangunan [3]. Penelitian terakhir yaitu tentang pengembangan model optimasi penjadwalan multi proyek yang mempertimbangkan keterbatasan sumber daya tenaga kerja [4]. Berdasarkan penelitian tersebut penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan model biaya langsung proyek konstruksi dengan menggunakan metode yang lebih sesuai yaitu *multivariate regression*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Analisis Regresi

Analisis regresi adalah analisis yang digunakan untuk mendapatkan hubungan antara variabel respon dan variabel prediktor [5]. Model yang menggambarkan hubungan antara variabel respon (Y) dan prediktor (X) adalah

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^p \beta_j X_{ij} + \varepsilon_i \quad (1)$$

dengan taksiran

$$\hat{y}_i = b_0 + \sum_{j=1}^p b_j X_{ij} \quad (2)$$

dimana :

$i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, p$; n = banyaknya pengamatan; p = banyaknya parameter; ε = Residual/error

B. Analisis Regresi Multivariat

Analisis regresi multivariat adalah metode analisis yang menggambarkan hubungan antara lebih dari satu variabel respon dengan variabel prediktor dan diantara variabel respon terdapat hubungan [6]. Model linier multivariat respon ke- q adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= \beta_{01} + \beta_{11}X_1 + \dots + \beta_{p1}X_p + \varepsilon_1 \\
 Y_2 &= \beta_{02} + \beta_{12}X_1 + \dots + \beta_{p2}X_p + \varepsilon_2 \\
 &\vdots \\
 Y_q &= \beta_{0q} + \beta_{1q}X_1 + \dots + \beta_{pq}X_p + \varepsilon_q
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Model regresi multivariat yang terdiri dari q persamaan model linier secara simultan dapat ditunjukkan dalam bentuk matriks sebagai berikut:

$$\mathbf{Y}_{(n \times q)} = \mathbf{X}_{n \times (p+1)} \boldsymbol{\beta}_{(p+1) \times q} + \boldsymbol{\varepsilon}_{n \times q}
 \tag{4}$$

Dengan

$$E(\varepsilon_i) = 0 \quad \text{COV}(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = \sigma_{ij} \mathbf{I}$$

C. Penaksiran Parameter

Penaksiran parameter merupakan langkah dalam analisis regresi multivariat yang menghasilkan suatu konstanta yang akan dipakai dalam persamaan regresi multivariat. Sehingga dapat dilakukan penaksiran nilai variabel respon yang baru dengan menggunakan variabel prediktor. Taksiran parameter dengan menggunakan taksiran OLS didapatkan taksiran parameter regresi multivariat yaitu $\hat{\boldsymbol{\beta}} = [\hat{\boldsymbol{\beta}}_{(1)} : \hat{\boldsymbol{\beta}}_{(2)} : \dots : \hat{\boldsymbol{\beta}}_{(q)}]$ dan matriks residual disimbolkan dengan $\mathbf{Y} - \mathbf{X}\hat{\boldsymbol{\beta}}$.

D. Uji Signifikansi Parameter

Uji signifikansi parameter merupakan suatu uji yang digunakan untuk mengetahui apakah parameter sudah signifikan terhadap model [7]. Hipotesa yang digunakan untuk uji signifikansi parameter adalah

$$H_0 : \beta_{11} = \beta_{12} = \dots = \beta_{ij} = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \beta_{ij} \neq 0$$

Dengan $i = 1, 2, \dots, q ; j = 1, 2, \dots, p$

Statistik uji Wilks' Lambda

$$\Lambda_{\text{hitung}} = \frac{|\boldsymbol{\Sigma}|}{|\boldsymbol{\Sigma} + \mathbf{H}|} = \frac{|\mathbf{Y}^T \mathbf{Y} - \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{X}^T \mathbf{Y}|}{|\mathbf{Y}^T \mathbf{Y} - n \bar{\mathbf{y}} \bar{\mathbf{y}}^T|} = \left(\frac{|\hat{\boldsymbol{\Sigma}}|}{|\hat{\boldsymbol{\Sigma}}_{ij}|} \right)^{n/2}
 \tag{5}$$

Dimana $\bar{\mathbf{y}}$ adalah vector rata-rata dari matriks \mathbf{Y} . Tolak H_0 jika $\Lambda_{\text{hitung}} \leq \Lambda_{\alpha, q, p, n-p-1}$, dengan $\Lambda_{\alpha, q, p, n-p-1}$ adalah nilai dari tabel kritis Wilks lambda.

E. Sumber Daya Proyek Konstruksi

Sumber daya proyek konstruksi merupakan suatu kemampuan dan kapasitas potensi yang dimanfaatkan untuk kegiatan proyek konstruksi. Sumber daya proyek konstruksi terdiri dari

1. Sumber daya biaya

Sumber daya biaya merupakan modal awal yang digunakan dalam pengadaan suatu konstruksi. Biaya proyek konstruksi sangat perlu diperhatikan karena sering terjadi pengadaan biaya yang tidak sesuai. Sumber daya biaya proyek konstruksi dibagi menjadi dua kelompok yaitu biaya langsung dan biaya tidak langsung. Biaya langsung (*Direct Cost*) merupakan biaya proyek konstruksi yang digunakan untuk biaya bahan/material, biaya upah/*labor/man power*, dan biaya alat/*equipment*.

Biaya tidak langsung (*Indirect Cost*) merupakan biaya yang digunakan untuk biaya *overhead*, biaya tak terduga/*contingencies*, dan biaya keuntungan/*profit* (AAE). Proses dalam manajemen sumber daya biaya adalah perencanaan, estimasi, penganggaran dan pengendalian.

2. Sumber daya waktu

Sumber daya waktu dalam jasa konstruksi sangat penting karena digunakan untuk membuat jadwal dalam perencanaan dan pengendalian mulai dan berakhirnya proyek konstruksi. Manajemen waktu pada suatu proyek (*Project Time Management*) dilakukan untuk dapat mengoptimalkan waktu proyek. Proses pada manajemen waktu proyek adalah pendefinisian aktivitas, urutan aktivitas, estimasi durasi, pengembangan jadwal, dan pengendalian jadwal.

3. Sumber daya tenaga kerja

Tenaga kerja dibagi menjadi dua yaitu penyedia atau pengawas serta pekerja atau buruh lapangan. Sedangkan jika dilihat dari bentuk hubungan kerja antar pihak yang bersangkutan, tenaga kerja konstruksi dibagi menjadi dua yaitu tenaga kerja langsung dan tenaga kerja borongan [8].

4. Sumber daya material atau bahan

Sumber daya material merupakan bagian terpenting pada proyek. Berdasarkan beberapa penelitian, biaya material menyerap 50-70% dari biaya proyek, biaya ini belum termasuk biaya penyimpanan material. Material dibagi menjadi tiga kategori yaitu *engineered materials*, *bulk materials*, dan *fabricated materials* [9].

5. Sumber daya peralatan

Sumber daya peralatan merupakan sumber daya terpenting yang dapat mendukung tercapainya tujuan yang diinginkan. Kebutuhan peralatan pada proyek konstruksi sebesar 7-15 % dari biaya proyek [10]. Pada tahap pelaksanaan konstruksi, salah satu unsur biayanya adalah biaya penggunaan alat berat (*Heavy Equipment*).

III. METODE PENELITIAN

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder dari PT. X selama periode 2010-2012. Sedangkan variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas variabel respon dan prediktor. Variabel respon terdiri dari Y_1 (biaya material), Y_2 (biaya manusia) and Y_3 (biaya peralatan) serta variabel prediktor terdiri dari X_1 (durasi) dan X_2 (nilai kontrak).

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut ;

1. Analisis statistika deskriptif untuk melihat gambaran umum karakteristik dari variabel penelitian yang digunakan dengan menggunakan digram, gambar dan lainnya.
2. Menguji multikolinieritas variabel prediktor karena apabila dalam variabel prediktor terdapat hubungan antara variabel yang satu dengan variabel yang lain, sehingga koefisien regresi tidak dapat dihasilkan dan standar eror yang dihasilkan tidak terhingga [11]. Penanggulangan

Tabel 1.

Nilai Rata-rata, Minimal dan Maksimal Variabel Respon (Y) dan Prediktor (X)

Variabel	Rata-rata	Minimal	Maksimal
Y ₁ (miliar)	12,47	1,25	41,63
Y ₂ (miliar)	1,672	0,129	6,776
Y ₃ (miliar)	1,956	0,089	7,368
X ₁ (miliar)	311,5	120	531
X ₂ (miliar)	26,9	2,87	75,84

3. yang dapat dilakukan jika terdapat multikolinieritas adalah mereduksi variabel prediktor dengan PCA agar antara variabel prediktor saling bebas.
4. Menyusun model komponen biaya langsung menggunakan analisis regresi multivariat dengan langkah-langkah sebagai berikut :
 - a. Menguji korelasi variabel respon
 - b. Menguji distribusi normal multivariat pada variabel respon dengan menggunakan plot antara jarak mahalnobis residual dengan vector rata-rata.
 - c. Estimasi parameter
 - d. Uji signifikansi parameter
 - e. Uji asumsi IIDN
5. Analisis lebih lanjut jika asumsi IIDN tidak terpenuhi (deteksi outlier).
6. Kembali ke langkah 2 sampai menghasilkan model regresi multivariat yang layak digunakan.

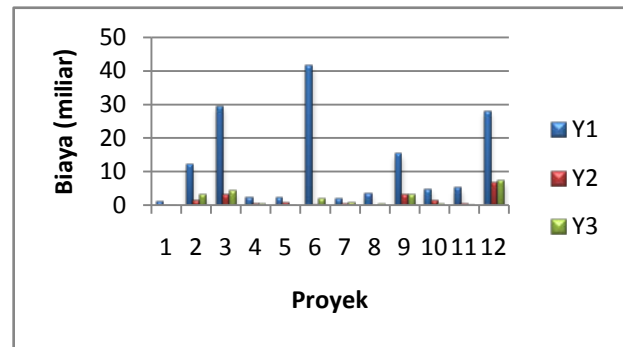
IV. HASIL DAN DISKUSI

A. Karakteristik Biaya Langsung, Durasi, dan Nilai Kontrak

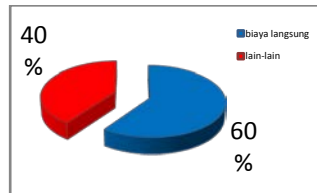
Pada penelitian ini, analisa statistik deskriptif digunakan untuk melihat gambaran umum karakteristik dari variabel biaya yang digunakan untuk sumber daya material (Y₁), biaya yang digunakan untuk sumber daya manusia (Y₂), biaya yang digunakan untuk sumber daya peralatan (Y₃) durasi (jangka waktu pelaksanaan proyek) (X₁) dan nilai kontrak proyek (X₂).

Tabel 1 menunjukkan bahwa biaya rata-rata yang dikeluarkan untuk sumber daya material (Y₁) adalah sebesar 12,47 miliar, biaya minimal sebesar 1,25 miliar dan biaya maksimum sebesar 41,634 miliar. Pada variabel respon Y₂ yaitu biaya yang digunakan untuk sumber daya manusia, rata-rata biaya yang dikeluarkan oleh PT. X untuk sumber daya manusia adalah sebesar 1,672 miliar, biaya minimal sebesar 0,129 miliar dan biaya maksimal sebesar 6,776 miliar. Sedangkan rata-rata biaya yang dikeluarkan oleh PT. X untuk sumber daya peralatan (Y₃) sebesar 1,956 miliar, biaya minimal sebesar 0,086 dan biaya sebesar 7,368 miliar.

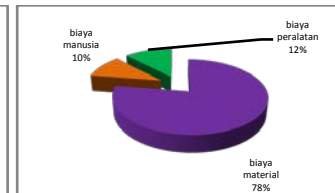
Biaya yang digunakan untuk sumber daya material bahan, manusia/upah kerja, dan peralatan antara proyek yang satu dengan proyek yang lain berbeda-beda dengan total biaya yang digunakan untuk ketiga sumber daya tersebut juga berbeda-beda seperti yang terlihat pada Gambar 1. Dari total biaya yang digunakan untuk sumber daya material/bahan, manusia/upah kerja, dan peralatan, sumber daya yang membutuhkan biaya proyek terbesar adalah biaya yang digunakan untuk sumber daya material. Hal ini menunjukkan bahwa material atau bahan bangunan yang digunakan untuk suatu proyek infrastruktur merupakan faktor utama yang mempengaruhi besarnya biaya proyek yang akan dikeluarkan oleh perusahaan jasa konstruksi dalam merencanakan biaya proyek khususnya biaya langsung. Sedangkan untuk sumber



Gambar 1. Diagram Batang Biaya Material, Manusia dan Peralatan



Gambar 2. Pie Chart Nilai Kontrak



Gambar 3. Pie Chart Biaya Langsung

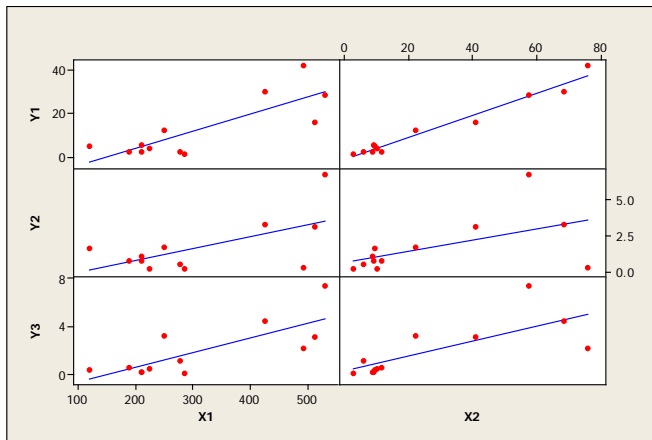
daya manusia dan peralatan memberikan pengaruh yang sama besar.

Jumlah proyek yang didapatkan oleh PT. X adalah 12 proyek dari tahun 2010 hingga 2012. Berdasarkan 12 proyek yang didapat, jumlah total nilai kontrak yang didapat adalah Rp.322.824.291.878,00. Sedangkan jumlah biaya langsung yang dikeluarkan untuk 12 proyek tersebut adalah sebesar Rp.193.177.268.910,00 dan sisa nilai kontrak digunakan untuk lain-lain. Gambaran visual dari jumlah nilai kontrak dan biaya langsung yang dikeluarkan oleh PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk dapat dilihat pada Gambar 2.

Biaya langsung proyek konstruksi PT. X dibagi menjadi 3 biaya yaitu biaya langsung yang digunakan untuk sumber daya material atau bahan, biaya langsung yang digunakan untuk sumber daya manusia atau tenaga kerja, dan biaya langsung yang digunakan untuk sumber daya peralatan atau mesin. Pembagian biaya langsung untuk ketiga biaya tersebut tidak sama proporsinya tergantung dari kebutuhan dan faktor lain dari setiap proyek. PT. X mempunyai 12 proyek yang sudah hampir terselesaikan. Total biaya langsung yang dikeluarkan adalah 60% dari total nilai kontrak yang didapat atau sebesar Rp.193.177.268.910,00. Pembagian biaya langsung untuk masing-masing biaya material, manusia dan peralatan dapat dilihat pada Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3 diketahui bahwa proporsi pembagian biaya langsung yang paling besar adalah untuk material yaitu 78%. Proporsi biaya langsung untuk manusia sebesar 10%. Sedangkan sisanya 12% digunakan untuk biaya peralatan. Pada pembagian proporsi biaya langsung yang digunakan untuk sumber daya material, manusia dan peralatan dapat diketahui bahwa proporsi yang paling besar adalah proporsi yang digunakan untuk material sesuai dengan tinjauan pustaka.

B. Analisis Hubungan Biaya Langsung, Durasi dan Nilai Kontrak

Pola hubungan antara variabel biaya langsung, nilai kontrak dan durasi dapat dilihat menggunakan diagram pencar atau



Gambar 4. Diagram Pencar Variabel Y dan X

nilai korelasi. Diagram pencar biaya langsung, nilai kontrak dan durasi dapat dilihat pada Gambar 4. Pada Gambar 4 tersebut terlihat bahwa hubungan antara biaya langsung yang terdiri dari material, manusia dan peralatan merupakan hubungan yang positif dengan durasi dan nilai kontrak. Artinya jika nilai kontrak dan durasi mengalami kenaikan, maka biaya langsung material, manusia dan peralatan juga akan naik. Hal tersebut didukung dengan hasil nilai korelasi yang positif antara variabel biaya langsung terhadap korelasi dan nilai kontrak.

Pola hubungan antara nilai kontrak dan durasi dengan menggunakan nilai korelasi didapatkan nilai korelasi sebesar 0,850. Artinya antara nilai kontrak dan durasi terdapat hubungan yang erat positif. Semakin tinggi nilai kontrak yang didapatkan, maka durasi yang digunakan juga akan semakin besar. pada penelitian ini durasi dan nilai kontrak merupakan variabel prediktor. Sehingga disimpulkan bahwa pada variabel prediktor terjadi gejala multikolinieritas karena ada korelasi antara nilai kontrak dan durasi.

C. Principal Component Analysis (PCA)

Nilai kontrak dan durasi terdapat hubungan yang sangat erat, yang berarti terdapat multikolinieritas pada variabel prediktor. Untuk melanjutkan analisis menggunakan regresi multivariat, multikolinieritas harus diatasi terlebih dahulu. Salah satu metode yang digunakan untuk mengatasi multikolinieritas adalah Principal Component Analysis (PCA). Dengan menggunakan PCA, akan didapatkan variabel baru yang bebas dari multikolinieritas hasil reduksi dari nilai kontrak dan durasi.

Pada penelitian ini untuk mengatasi masalah multikolinieritas akan dilakukan PCA. Data yang digunakan dalam PCA merupakan data yang sudah distandarkan. Hasil komponen utama Z_1 yang didapatkan adalah :

$$Z_1 = 0,520 X_1(\text{durasi}) + 0,520 X_2(\text{nilai kontrak})$$

Komponen utama Z_1 terbentuk dari variabel X_1 dan X_2 . Nilai dari komponen utama Z_1 berasal dari 0,520 variabel durasi (X_1) dan variabel nilai kontrak (X_2) yang distandarkan.

D. Analisis Regresi Multivariat

Setelah mendapatkan komponen utama, selanjutnya data pada penelitian ini dianalisis menggunakan regresi multivariat untuk mendapatkan model dari biaya langsung. Pada metode regresi multivariat terdapat syarat bahwa variabel respon harus

Tabel 2. Estimasi Parameter Variabel Respon ($Y_1, Y_2,$ dan Y_3) dengan Variabel Baru (Z_1)

Parameter	konstanta	Z_1
Y_1	7.778E-011	0,933
Y_2	-1.170E-010	0,596
Y_3	1.488E-010	0,785

mempunyai hubungan (korelasi) dalam hal ini biaya langsung material, manusia dan peralatan harus mempunyai hubungan. Pengujian hubungan variabel respon dilakukan dengan menggunakan uji bartlett. Berdasarkan hasil uji Bartlett Sphericity didapatkan nilai p -value sebesar 0,000, sehingga disimpulkan bahwa biaya langsung material, manusia dan peralatan mempunyai hubungan yang erat.

Selain menguji hubungan variabel respon, dilakukan juga pengujian distribusi normal multivariat. Pengujian normal multivariat dilakukan dengan menggunakan q - q plot dari nilai jarak mahalanobis d_i^2 dengan vector rata-rata. Setelah dilakukan pengujian distribusi normal multivariat pada variabel respon menunjukkan bahwa nilai $d_i^2 \leq \chi_{p,0.50}^2$ sebesar 66,67 persen. Berdasarkan hipotesa disimpulkan bahwa variabel respon data proyek PT. X mempunyai distribusi normal multivariat.

Langkah pertama setelah syarat awal dalam regresi multivariat terpenuhi adalah estimasi parameter. Estimasi parameter merupakan langkah dalam regresi yang digunakan untuk mendapatkan model regresi multivariat yang menggambarkan hubungan antara variabel respon dan variabel prediktor. Hasil dari estimasi parameter dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2 tersebut, diperoleh model regresi multivariat untuk masing-masing variabel respon biaya yang digunakan untuk sumber daya material (Y_1), biaya yang digunakan untuk sumber daya manusia (Y_2), dan biaya yang digunakan untuk sumber daya peralatan (Y_3). Model yang terbentuk dari masing-masing variabel respon adalah sebagai berikut:

$$Y_1 (\text{material}) = 7,778E-011 + 0,933 (Z_1)$$

$$Y_2 (\text{manusia}) = -1,170E-010 + 0,596 (Z_1)$$

$$Y_3 (\text{peralatan}) = 1,488E-010 + 0,785 (Z_1)$$

Persamaan tersebut masih dalam bentuk standarisasi. Berdasarkan persamaan tersebut, diperoleh model pengaruh durasi kontrak dan nilai kontrak terhadap pembagian biaya langsung untuk material, manusia dan peralatan adalah sebagai berikut :

$$Y_1 (\text{material}) = -8,68022 + 0,04633 (X_1) + 0,24765 (X_2)$$

$$Y_2 (\text{manusia}) = -0,24685 + 0,00421 (X_1) + 0,02252 (X_2)$$

$$Y_3 (\text{peralatan}) = -0,97797 + 0,06443 (X_1) + 0,03444 (X_2)$$

Artinya, jika durasi proyek bertambah 1 hari dan nilai kontrak bertambah 1 miliar maka biaya material akan bertambah 0,29398 miliar, biaya manusia (upah) akan bertambah sebesar 0,02673 miliar dan biaya peralatan akan bertambah sebesar 0,09887 miliar.

Langkah kedua setelah didapatkan estimasi parameter adalah uji signifikansi parameter. Pengujian signifikansi parameter tersebut dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah parameter-parameter yang sudah terbentuk pada model regresi

Tabel 2. Nilai Wilks Lambda dengan Variabel Z₁

	Z ₁
Wilks Lambda	0,095
P-value	0,000

multivariat tersebut akan berpengaruh secara signifikan pada penaksiran nilai baru dengan menggunakan model persamaan regresi multivariat tersebut. Pada penelitian ini, hipotesa yang digunakan untuk pengujian signifikansi parameter adalah

Hipotesis

$$H_0 : \beta_{11} = \beta_{12} = \beta_{21} = \beta_{22} = \beta_{31} = \beta_{32} = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \beta_{ij} \neq 0$$

Statistik uji

$$\Lambda_{hitung} = \frac{|\Sigma|}{|\Sigma + H|} = \frac{|\mathbf{Y}^T \mathbf{Y} - \beta^T \mathbf{X}^T \mathbf{Y}|}{|\mathbf{Y}^T \mathbf{Y} - n\bar{y}\bar{y}^T|} = \left(\frac{|\hat{\Sigma}|}{|\hat{\Sigma}_{ij}|} \right)^{n/2}$$

Tolak H₀ jika nilai $\Lambda_{hitung} \leq \Lambda_{\alpha,q,p,n-p-1}$ atau nilai p-value $\leq \alpha$

Berdasarkan Tabel 2 tersebut, didapatkan nilai p-value sebesar 0.000 yang berarti diputuskan menolak H₀ dan disimpulkan bahwa variabel durasi dan nilai kontrak mempunyai pengaruh signifikan terhadap model regresi yang terbentuk.

Langkah yang terakhir dalam metode regresi multivariat adalah menguji residual dari model yang terbentuk apakah sudah memenuhi asumsi IIDN (Identik, Independen, Normal Multivariat). Pengujian asumsi yang pertama dilakukan pada penelitian ini adalah menguji asumsi residual identik yaitu matriks varian-kovarian residual bersifat homogen (identik). Pengujian asumsi residual identik dilakukan dengan menggunakan uji Box's M. berdasarkan hasil uji Box's M yang dilakukan didapatkan p-value sebesar 0,029. Artinya matriks varian-kovarian residual model regresi multivariat yang terbentuk tidak bersifat homogen (heterogen).

Pengujian asumsi residual yang kedua adalah independen. Model regresi layak digunakan jika residual dari model bersifat independen (saling bebas) satu sama lainnya. Pengujian asumsi residual independen dilakukan dengan menggunakan plot ACF. Hasil pengujian residual independen dengan menggunakan plot ACF didapatkan hasil bahwa residual model regresi yang terbentuk bersifat independen. Sedangkan uji residual normal multivariat dengan menggunakan *q-q plot* dari nilai d_i^2 didapatkan hasil bahwa residual berdistribusi normal multivariat.

Residual model regresi yang terbentuk memenuhi asumsi normal multivariat dan independen, namun tidak memenuhi asumsi identik. Sehingga disimpulkan bahwa model regresi yang terbentuk tidak layak untuk digunakan. Sehingga untuk mendapatkan model regresi multivariat yang layak digunakan dilakukan analisis lebih lanjut yaitu dalam hal ini deteksi outlier residual.

E. Deteksi Outlier

Matriks varian-kovarian data tidak homogen dapat disebabkan salah satunya karena ada outlier didalam data. Pada penelitian ini dilakukan deteksi outlier untuk melihat

Tabel 3.

Nilai Korelasi Pearson Variabel Respon dan Variabel Prediktor Data Baru tanpa Outlier

	Y ₁	Y ₂	Y ₃	X ₁	X ₂
Y ₁	1,000				
Y ₂	0,886	1,000			
Y ₃	0,926	0,856	1,000		
X ₁	0,698	0,690	0,737	1,000	
X ₂	0,983	0,897	0,906	0,755	1,000

apakah pada data biaya langsung, nilai kontrak dan durasi terdapat outlier dengan menggunakan jarak mahalanobis. Deteksi outlier pada penelitian ini menggunakan macro minitab. Pada hasil deteksi outlier ditemukan 2 data yang outlier. Selanjutnya, data yang outlier tersebut tidak digunakan dalam analisis selanjutnya sehingga data yang ada sekarang tinggal 10 data tanpa outlier.

F. Analisis Regresi Multivariat

Sebelumnya telah didapatkan 10 data yang sudah tidak ada data outlier. Untuk mendapatkan model regresi, 10 data tersebut dianalisis regresi multivariat. namun, sebelum dilakukan analisis regresi multivariat, seperti pada analisis awal, dilakukan pengujian hubungan variabel respon dan prediktor terlebih dahulu. Hasil pengujian hubungan antara variabel respon dan prediktor ada pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3 tersebut menunjukkan bahwa antara variabel respon yang satu dengan yang lain terdapat hubungan yang sangat erat. Begitu juga dengan variabel prediktor (X). Antara X₁ dan X₂ didapatkan nilai korelasi sebesar 0.755 yang berarti terdapat hubungan yang sangat erat pada variabel prediktor atau disebut dengan multikolinieritas.

Sama halnya dengan analisis yang dilakukan pada 12 data awal sebelum dilakukan deteksi outlier. Gejala multikolinieritas pada variabel prediktor ditanggulangi dengan menggunakan metode PCA agar mendapatkan variabel baru yang bebas dari multikolinieritas. Selanjutnya, dilakukan PCA pada 10 data tersebut dan dihasilkan variabel baru yang disebut dengan komponen utama Z₁ dengan persamaan

$$Z_1 = 0,534 X_1(\text{durasi}) + 0,534 X_2(\text{nilai kontrak})$$

Persamaan komponen utama tersebut digunakan untuk mencari nilai komponen utama Z₁. Nilai-nilai komponen utama yang dihasilkan akan menjadi variabel prediktor pada analisis regresi multivariat dengan variabel respon biaya langsung material, manusia dan peralatan.

Pada analisis regresi multivariat terdapat syarat bahwa data yang akan dianalisis menggunakan metode regresi multivariat merupakan data yang berdistribusi multivariat. pada penelitian ini, dilakukan pengujian data berdistribusi multivariat dengan menggunakan macro minitab. Hasil dari pengujian distribusi normal multivariat data tanpa outlier adalah 60 persen nilai $d_i^2 \leq \chi_{p,0.50}^2$ sehingga dikatakan bahwa data tersebut berdistribusi normal multivariat.

Langkah pertama pada analisis regresi multivariat adalah estimasi parameter yang bertujuan untuk mendapatkan model regresi multivariat. Estimasi parameter pada penelitian ini didapatkan hasil seperti pada Tabel 4 berikut :

Tabel 4.
Estimasi Parameter Variabel Respon (Y_1 , Y_2 , dan Y_3) dengan Komponen Utama (Z_1)

Parameter	konstanta	Z_1
Y_1	-1,225E-017	0,897
Y_2	-1,000E-010	0,847
Y_3	2,000E-010	0,877

Berdasarkan Tabel 4 tersebut, diperoleh model regresi multivariat untuk masing-masing variabel respon Y_1 (material), Y_2 (manusia), dan Y_3 (peralatan) terhadap Z_1 . Model yang terbentuk dari masing-masing variabel respon setelah variabel Z_1 dikembalikan ke bentuk X_1 dan X_2 adalah sebagai berikut:

$$Y_1 \text{ (material)} = -1.31264 + 0,03027 (X_1) + 0,16182 (X_2)$$

$$Y_2 \text{ (manusia)} = -0,36393 + 0,00437 (X_1) + 0,02496 (X_2)$$

$$Y_3 \text{ (peralatan)} = -1,01616 + 0,00635 (X_1) + 0,03629 (X_2)$$

Pada model regresi multivariat yang terbentuk tersebut, dapat diambil suatu kesimpulan bahwa variabel durasi dan nilai kontrak mempunyai pengaruh terhadap penggunaan biaya langsung untuk sumber daya material (Y_1), manusia (Y_2), dan peralatan (Y_3) proyek konstruksi bangunan infrastruktur. Model regresi multivariat yang terbentuk diatas dapat diinterpretasikan bahwa durasi dan nilai kontrak memberikan pengaruh yang positif terhadap perkiraan biaya langsung untuk sumber daya material (Y_1), sumber daya manusia (Y_2) dan sumber daya peralatan (Y_3). Sedangkan konstanta (*fixcost*) dari model yang terbentuk tersebut tidak mempunyai pengaruh terhadap variabel biaya material, manusia dan peralatan. Sehingga yang mempunyai pengaruh terhadap biaya langsung dalam model ini hanya durasi proyek dan nilai kontrak saja. Jika durasi bertambah 1 hari dan nilai kontrak bertambah sebesar 1 miliar maka biaya untuk material akan bertambah sebesar 0,19209 miliar, biaya untuk manusia atau upah akan bertambah sebesar 0,02933 miliar dan biaya peralatan akan bertambah sebesar 0,04264 miliar.

Langkah kedua setelah mendapatkan model adalah uji signifikansi model dengan menggunakan nilai wilks lambda. Nilai wilks lambda yang didapatkan adalah sebesar 0,172 dengan p-value sebesar 0,010. Nilai p-value dari wilks lambda yang didapatkan kurang dari 0,05 sehingga disimpulkan bahwa variabel durasi dan nilai kontrak mempunyai pengaruh signifikan terhadap model persamaan regresi multivariat biaya langsung pada proyek konstruksi bangunan infrastruktur yang digunakan untuk sumber daya material (Y_1), manusia (Y_2), dan peralatan (Y_3).

Sedangkan besarnya hubungan antara variabel respon dan variabel prediktor adalah $\eta^2_{\Lambda} = 1 - 0,172 = 0,828$. Nilai tersebut dapat diartikan bahwa model persamaan regresi multivariat yang terbentuk tersebut dapat menjelaskan informasi data sebesar 82,8 persen.

Langkah yang ketiga dan terakhir agar model yang didapatkan tersebut layak digunakan adalah pengujian asumsi residual IIDN (identik, independen, normal). Pengujian asumsi yang pertama adalah pengujian asumsi identik dengan menggunakan uji Box's M. Pada penelitian ini, dengan menggunakan uji Box's M didapatkan hasil bahwa residual model regresi multivariat yang didapat bersifat identik (homogen).

Pengujian residual selanjutnya adalah menguji residual bersifat independen. Pengujian residual independen dilakukan dengan menggunakan plot ACF dan didapatkan hasil bahwa residual regresi multivariat yang terbentuk bersifat independen. Setelah itu dilakukan pengujian asumsi residual berdistribusi normal multivariat. pengujian dilakukan dengan menggunakan nilai d_i^2 dan didapatkan kesimpulan bahwa residual model sudah memenuhi asumsi berdistribusi normal multivariat.

Asumsi IIDN yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa model regresi tersebut sudah memenuhi ketiga asumsi yaitu bersifat identik (homogen), independen, dan berdistribusi normal multivariat. Sehingga model regresi multivariat biaya langsung material, manusia dan peralatan layak untuk digunakan.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa total nilai kontrak yang didapat PT. X periode 2010 sampai dengan 2012 adalah Rp. 322.824.291.878,00. Sedangkan jumlah biaya langsung yang dikeluarkan untuk 12 proyek tersebut adalah sebesar Rp. 193.177.268.910,00 dan sisa nilai kontrak digunakan untuk lain-lain. Pembagian biaya langsung untuk ketiga biaya tersebut tidak sama proporsinya tergantung dari kebutuhan dan faktor lain dari setiap proyek. Pembagian proporsi biaya langsung adalah 78% material, 10% manusia, dan 12% peralatan. Durasi dan nilai kontrak mempunyai pengaruh terhadap bertambahnya biaya langsung yang digunakan. Jika durasi bertambah 1 hari dan nilai kontrak tetap maka biaya material akan bertambah sebesar 0,03027 miliar, biaya manusia akan bertambah sebesar 0,00437 miliar dan biaya peralatan akan bertambah sebesar 0,00635 miliar. Sedangkan jika durasi proyek tetap dan nilai kontrak bertambah 1 miliar maka biaya material akan bertambah 0,16182 miliar, biaya manusia akan bertambah 0,02496 miliar dan biaya peralatan akan bertambah sebesar 0,03629 miliar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Soeharto, *Manajemen Proyek : dari Konseptual sampai Operasional*. Jakarta : Erlangga, (2005).
- [2] Y. Muzayanah, *Pemodelan Proporsi Sumber Daya Proyek Kontruksi*. Universitas Diponegoro. Semarang, (2008).
- [3] B. Nugoba, *Perancangan dan Implementasi Sistem Informasi Untuk menunjang Estimasi Biaya Konstruksi Pada Proyek Bangunan*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya, (2010).
- [4] D. Hermiaty, *Pemodelan dan Analisis Proporsi Upah Tenaga Kerja pada Proyek Konstruksi*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta, (2007).
- [5] G. N. Draper, dan H. Smith, *Analisis Regresi Terapan*. Jakarta: Gramedia, (1992).
- [6] R.A. Johnson, dan D. Wichern, *Applied Multivariat Statistikal Analysis*. New Jersey : Prentice hall, (2007).
- [7] A.R. Rencher, *Methods of Multivariate Analysis Second Edition*. New York : John Wiley & Sons, Inc., (2002).
- [8] Sugiyono. *Metode Penelitian Bisnis*. Bandung : Alfabeta, (2001).
- [9] G. Stukhart, *Construction Materials Management*. New York : Marcel Dekker, Inc, (1995).
- [10] T. Fahan, *Analisis Efisiensi Penggunaan Alat Berat*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta, (2005).
- [11] D. N. Gujarati, *Basic Econometrics, Fourth Edition. USA: The McGraw-Hill Companies*, (2004).