



Estimasi Biaya Konstruksi Berdasarkan Eskalasi Biaya pada Pembangunan Bendungan Tipe Urugan dengan Regresi Linier Berganda

Alfriady Zuliansyah^{1*}, Denik Sri Krisnayanti², Wati Asriningsih Pranoto³

¹⁻³Universitas Tarumanegara, Indonesia

*Penulis korespondensi: alfriady.328212002@stu.untar.ac.id

Abstract. Construction cost is one of the most important aspects determining the success of dam construction projects because it is directly related to project planning, budgeting, and cost control during implementation. Inaccurate cost estimation may lead to budget overruns, project delays, and reduced construction quality. This study aims to analyze the influence of reservoir storage capacity and diversion channel length on the construction cost of embankment dam projects using the multiple linear regression method. The research data were obtained from several embankment dam projects and analyzed using IBM SPSS Statistics software. The analytical procedures included classical assumption tests consisting of normality, multicollinearity, heteroscedasticity, and autocorrelation tests, followed by multiple linear regression analysis, partial significance tests, simultaneous significance tests, and coefficient of determination analysis. The results indicate that reservoir storage capacity and diversion channel length have a positive and significant effect on construction costs. The resulting regression equation is $Y = 636.397 + 6.471X_1 + 0.960X_2$, indicating that increases in reservoir storage capacity and diversion channel length will increase the construction cost of embankment dam projects. Both independent variables have significance values below 0.05, indicating that the proposed hypotheses are accepted. The developed regression model can be used as a reference for preliminary cost estimation of embankment dam projects, thereby supporting more effective, efficient, and accurate budgeting during the planning stage.

Keywords: Construction Cost; Diversion Channel; Embankment Dam; Multiple Linear Regression; Reservoir Storage Capacity.

Abstrak. Biaya konstruksi merupakan salah satu aspek penting dalam keberhasilan pembangunan bendungan tipe urugan karena berkaitan dengan efektivitas perencanaan dan pengendalian proyek. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh daya tampung bendungan dan panjang *diversion channel* terhadap biaya konstruksi proyek bendungan tipe urugan serta menyusun model prediksi biaya berdasarkan kedua variabel tersebut. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan analisis regresi linier berganda terhadap data sekunder yang diperoleh dari beberapa proyek bendungan tipe urugan. Analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak IBM SPSS Statistics melalui metode *stepwise regression*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya tampung bendungan dan panjang *diversion channel* berpengaruh positif dan signifikan terhadap biaya konstruksi proyek bendungan tipe urugan. Persamaan regresi yang diperoleh adalah $Y = 636,397 + 6,471X_1 + 0,960X_2$, dengan daya tampung bendungan memiliki pengaruh yang lebih dominan dibandingkan panjang *diversion channel*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kapasitas tampungan dan panjang saluran pengelak akan meningkatkan biaya konstruksi karena bertambahnya volume pekerjaan, kebutuhan material, penggunaan alat berat, serta durasi pelaksanaan proyek. Model regresi yang dihasilkan dapat digunakan sebagai alat bantu dalam melakukan estimasi awal biaya konstruksi pada tahap studi kelayakan maupun perencanaan proyek sehingga proses pengambilan keputusan menjadi lebih efektif. Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan variabel teknis dan ekonomi lainnya agar model prediksi biaya konstruksi memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi.

Kata Kunci: Biaya Konstruksi; Bendungan Urugan; Kapasitas Tampungan Waduk; Regresi Linier Berganda; Saluran Pengelak.

1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur sumber daya air merupakan salah satu prioritas strategis dalam mendukung ketahanan air, ketahanan pangan, dan pertumbuhan ekonomi berkelanjutan. Bendungan tipe urugan menjadi jenis bendungan yang paling banyak diterapkan di Indonesia karena memanfaatkan material lokal, memiliki fleksibilitas terhadap kondisi geologi, serta relatif lebih ekonomis dibandingkan tipe bendungan lainnya. Selain berfungsi sebagai penyedia

air baku, bendungan juga berperan dalam irigasi, pengendalian banjir, pembangkit listrik tenaga air, serta mitigasi dampak perubahan iklim. Oleh karena itu, pembangunan bendungan memerlukan perencanaan yang komprehensif agar investasi yang dilakukan mampu memberikan manfaat jangka panjang (Asiyanto, 2011; AWI Engineering and Consulting Plc., 2006).

Seiring meningkatnya kebutuhan pembangunan bendungan, nilai investasi proyek juga mengalami peningkatan yang signifikan. Proyek bendungan termasuk kategori proyek konstruksi dengan kompleksitas tinggi karena dipengaruhi oleh karakteristik topografi, kondisi geologi, hidrologi, metode konstruksi, serta kebutuhan bangunan pelengkap yang berbeda pada setiap lokasi. Kompleksitas tersebut menyebabkan estimasi biaya menjadi salah satu aspek yang sangat menentukan keberhasilan proyek sejak tahap perencanaan awal. Kesalahan dalam memperkirakan biaya dapat berdampak pada perubahan ruang lingkup pekerjaan, keterlambatan penyelesaian proyek, hingga pembengkakan anggaran selama pelaksanaan (Ashworth, 1994; Aditya & Putra, 2025).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa proyek bendungan berskala besar memiliki kecenderungan mengalami deviasi antara biaya rencana dan biaya aktual. Fenomena cost overrun masih menjadi tantangan utama dalam pembangunan infrastruktur air di berbagai negara, terutama karena ketidakpastian kondisi lapangan yang belum sepenuhnya dapat diidentifikasi pada tahap awal perencanaan. Akibatnya, estimasi biaya yang kurang akurat sering kali menghasilkan keputusan investasi yang kurang optimal dan meningkatkan risiko finansial proyek (Ansar et al., 2014).

Pada tahap konseptual maupun studi kelayakan, informasi teknis yang tersedia umumnya masih terbatas sehingga metode estimasi berbasis Bill of Quantity (BOQ) belum dapat diterapkan secara rinci. Kondisi tersebut mendorong perlunya pendekatan estimasi yang mampu menghasilkan prediksi biaya berdasarkan parameter teknis utama yang telah diketahui sejak tahap awal. Model estimasi konseptual yang sederhana namun memiliki tingkat akurasi memadai akan sangat membantu pemilik proyek maupun konsultan dalam menyusun rencana investasi sebelum dokumen perencanaan detail disusun (Ashworth, 1994).

Salah satu pendekatan yang banyak digunakan dalam pengembangan model estimasi biaya adalah analisis regresi linier. Metode ini mampu mengidentifikasi hubungan antara karakteristik teknis proyek dengan biaya konstruksi melalui pemanfaatan data historis proyek yang telah selesai. Selain mudah diterapkan, regresi linier menghasilkan model matematis yang transparan, mudah diinterpretasikan, serta dapat digunakan sebagai alat prediksi pada proyek dengan karakteristik serupa. Pengujian statistik terhadap model juga memungkinkan

identifikasi variabel yang benar-benar berpengaruh terhadap biaya konstruksi sehingga model yang dihasilkan menjadi lebih objektif dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah (Ghozali, 2011).

Meskipun berbagai penelitian mengenai estimasi biaya konstruksi telah banyak dilakukan, sebagian besar masih berfokus pada proyek gedung, jalan, maupun infrastruktur umum lainnya. Kajian yang secara khusus mengembangkan model estimasi biaya untuk bendungan tipe urugan di Indonesia masih relatif terbatas, terutama yang menggunakan data historis dari berbagai proyek bendungan sebagai dasar penyusunan model statistik. Padahal setiap bendungan memiliki karakteristik teknis yang berbeda sehingga diperlukan model estimasi yang disusun berdasarkan karakteristik proyek bendungan itu sendiri agar menghasilkan tingkat akurasi yang lebih baik (AWI Engineering and Consulting Plc., 2006).

Selain itu, karakteristik teknis bendungan seperti kapasitas tampungan, dimensi tubuh bendungan, spesifikasi bangunan pelimpah, serta sistem diversion channel diduga memiliki kontribusi yang berbeda terhadap besarnya biaya konstruksi. Namun demikian, belum seluruh variabel tersebut memiliki pengaruh yang signifikan sehingga diperlukan analisis statistik untuk menentukan faktor-faktor dominan yang benar-benar memengaruhi biaya pembangunan bendungan tipe urugan. Identifikasi faktor dominan tersebut diharapkan mampu menghasilkan model estimasi yang lebih sederhana tanpa mengurangi tingkat keandalannya dalam memprediksi biaya konstruksi.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh berbagai karakteristik teknis terhadap biaya konstruksi bendungan tipe urugan menggunakan metode regresi linier berganda berdasarkan data historis proyek bendungan di Indonesia. Hasil penelitian diharapkan menghasilkan model estimasi biaya konseptual yang praktis, akurat, dan mudah diterapkan pada tahap studi kelayakan maupun perencanaan awal. Selain memberikan kontribusi terhadap pengembangan metode estimasi biaya konstruksi, penelitian ini juga diharapkan mendukung peningkatan efisiensi investasi pembangunan infrastruktur sumber daya air secara berkelanjutan serta mendukung pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs), khususnya pada aspek infrastruktur dan pengelolaan sumber daya air.

2. KAJIAN TEORITIS

Biaya Konstruksi Proyek Bendungan Tipe Urugan

Biaya konstruksi merupakan seluruh pengeluaran yang diperlukan dalam pelaksanaan suatu proyek konstruksi sejak tahap persiapan hingga penyelesaian pekerjaan. Pada proyek bendungan tipe urugan, biaya konstruksi dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kondisi

topografi, geologi, dimensi bangunan utama, volume pekerjaan tanah, ketersediaan material, serta bangunan pelengkap. Semakin kompleks karakteristik suatu bendungan, semakin besar pula biaya yang dibutuhkan dalam proses pembangunannya.

Bendungan tipe urugan merupakan bendungan yang dibangun menggunakan material alami seperti tanah, batu, atau kombinasi keduanya yang dipadatkan secara berlapis sehingga mampu menahan tekanan air. Dibandingkan bendungan beton, bendungan tipe urugan lebih banyak digunakan karena dapat memanfaatkan material lokal dan lebih ekonomis pada lokasi tertentu. Namun demikian, besarnya biaya konstruksi tetap dipengaruhi oleh karakteristik teknis setiap proyek.

Menurut Soeharto (1999), biaya proyek merupakan salah satu indikator utama keberhasilan pelaksanaan proyek konstruksi karena berkaitan langsung dengan efisiensi penggunaan sumber daya. Oleh karena itu, identifikasi faktor-faktor yang memengaruhi biaya konstruksi menjadi penting sebagai dasar dalam penyusunan estimasi biaya yang lebih akurat.

Daya Tampung Bendungan

Daya tampung bendungan adalah kapasitas maksimum waduk dalam menampung volume air yang dinyatakan dalam satuan juta meter kubik (juta m³). Kapasitas tampungan menjadi salah satu parameter utama dalam perencanaan bendungan karena menentukan fungsi bendungan dalam penyediaan air baku, irigasi, pembangkit listrik, maupun pengendalian banjir.

Semakin besar daya tampung bendungan, maka dimensi tubuh bendungan, luas genangan, serta bangunan pelengkap yang diperlukan umumnya semakin besar. Kondisi tersebut menyebabkan peningkatan volume pekerjaan konstruksi sehingga biaya pembangunan bendungan juga cenderung meningkat. Oleh karena itu, daya tampung bendungan sering digunakan sebagai salah satu variabel yang memengaruhi besarnya biaya konstruksi proyek.

Menurut Sosrodarsono dan Takeda (2003), kapasitas tampungan merupakan parameter penting dalam desain bendungan karena menentukan ukuran bangunan utama dan bangunan pelengkap yang harus direncanakan sesuai kebutuhan operasi waduk.

Panjang Diversion Channel

Diversion channel atau saluran pengelak merupakan bangunan sementara yang berfungsi mengalihkan aliran sungai selama proses pembangunan bendungan agar area konstruksi tetap kering dan pekerjaan dapat dilaksanakan dengan aman. Saluran pengelak menjadi salah satu komponen penting pada tahap konstruksi bendungan.

Panjang diversion channel ditentukan berdasarkan kondisi topografi, geologi, serta tata letak bangunan utama bendungan. Semakin panjang saluran pengelak yang harus dibangun,

maka volume pekerjaan galian, pasangan pelindung, serta pekerjaan pendukung lainnya akan semakin besar sehingga meningkatkan biaya konstruksi proyek.

Menurut Chow (1988), saluran pengelak dirancang untuk mengalihkan debit sungai selama masa konstruksi dengan mempertimbangkan aspek hidrolika, stabilitas, dan efisiensi pelaksanaan. Oleh karena itu, panjang diversion channel menjadi salah satu faktor teknis yang berpotensi memengaruhi besarnya biaya pembangunan bendungan.

3. METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis deskriptif dan verifikatif. Pendekatan kuantitatif dipilih karena bertujuan untuk menguji pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat melalui analisis statistik. Analisis dilakukan menggunakan regresi linier berganda untuk mengetahui besarnya pengaruh daya tampung bendungan dan panjang diversion channel terhadap biaya konstruksi proyek bendungan tipe urugan.

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai proyek bendungan tipe urugan di Indonesia. Pengumpulan data dilakukan melalui studi dokumentasi terhadap laporan perencanaan, dokumen teknis, serta data biaya konstruksi proyek.

Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari dokumen proyek bendungan tipe urugan. Data meliputi:

- a. Biaya konstruksi proyek bendungan tipe urugan (Y)
- b. Daya tampung bendungan (X1)
- c. Panjang diversion channel (X2)

Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian terdiri atas:

- a. Variabel terikat (Y): Biaya Konstruksi Proyek Bendungan Tipe Urugan.
- b. Variabel bebas (X1): Daya Tampung Bendungan.
- c. Variabel bebas (X2): Panjang Diversion Channel.

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak IBM SPSS Statistics dengan tahapan sebagai berikut:

- a. Analisis statistik deskriptif untuk menggambarkan karakteristik data penelitian.
- b. Pengujian asumsi klasik yang meliputi uji normalitas, uji multikolinearitas, uji heteroskedastisitas, dan uji autokorelasi apabila diperlukan.
- c. Analisis regresi linier berganda untuk mengetahui hubungan antara variabel independen terhadap variabel dependen.
- d. Pengujian hipotesis menggunakan:
 - a. Uji t untuk mengetahui pengaruh parsial masing-masing variabel bebas.
 - b. Uji F untuk mengetahui pengaruh simultan seluruh variabel bebas.
 - c. Koefisien determinasi (R^2) untuk mengetahui besarnya kemampuan model dalam menjelaskan variasi biaya konstruksi.

Persamaan regresi yang digunakan adalah:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + e$$

.....(i)

dengan:

- a. Y = Biaya Konstruksi Proyek Bendungan Tipe Urugan
- b. a = konstanta
- c. b_1, b_2 = koefisien regresi
- d. X_1 = Daya Tampung Bendungan
- e. X_2 = Panjang Diversion Channel
- f. e = galat (error).

Berdasarkan hasil analisis SPSS, diperoleh persamaan regresi sebagai berikut:

$$Y = 636,397 + 6,471X_1 + 0,960X_2$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa setiap peningkatan daya tampung bendungan sebesar satu satuan akan meningkatkan biaya konstruksi sebesar 6,471 satuan dengan asumsi variabel lain tetap. Sementara itu, setiap peningkatan panjang diversion channel sebesar satu satuan akan meningkatkan biaya konstruksi sebesar 0,960 satuan dengan asumsi variabel lain konstan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Regresi Linier Berganda

Analisis regresi linier berganda dilakukan untuk mengetahui hubungan antara daya tampung bendungan dan panjang diversion channel terhadap biaya konstruksi proyek bendungan tipe urugan. Analisis ini menggunakan perangkat lunak IBM SPSS Statistics dengan metode *stepwise regression* sehingga diperoleh model terbaik berdasarkan variabel yang memiliki kontribusi paling besar terhadap perubahan biaya konstruksi. Pemilihan metode regresi linier berganda didasarkan pada kemampuan model dalam menjelaskan pengaruh lebih dari satu variabel bebas terhadap satu variabel terikat secara simultan sehingga hubungan antarvariabel dapat dianalisis secara lebih komprehensif. Menurut Soeharto (1999), analisis regresi merupakan salah satu metode statistik yang banyak digunakan dalam bidang manajemen konstruksi untuk mengembangkan model prediksi biaya berdasarkan karakteristik teknis suatu proyek.

Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa model regresi yang diperoleh memiliki persamaan $Y = 636,397 + 6,471X_1 + 0,960X_2$, di mana Y merupakan biaya konstruksi proyek bendungan tipe urugan, X_1 merupakan daya tampung bendungan, dan X_2 merupakan panjang diversion channel. Nilai konstanta sebesar 636,397 menunjukkan besarnya estimasi biaya konstruksi dasar ketika seluruh variabel bebas dianggap konstan, sedangkan nilai koefisien regresi pada masing-masing variabel menunjukkan besarnya perubahan biaya akibat peningkatan setiap satu satuan variabel bebas. Koefisien regresi yang bernilai positif mengindikasikan bahwa peningkatan daya tampung bendungan maupun panjang diversion channel akan diikuti oleh peningkatan biaya konstruksi proyek. Hasil tersebut menunjukkan bahwa karakteristik teknis bendungan memiliki hubungan yang erat dengan besarnya kebutuhan biaya selama pelaksanaan konstruksi sehingga perlu diperhitungkan sejak tahap perencanaan proyek.

Sebagai ilustrasi penerapan model regresi, apabila suatu bendungan memiliki daya tampung sebesar 100 satuan dan panjang diversion channel sebesar 250 satuan maka estimasi biaya konstruksi diperoleh sebesar 1.523,497 berdasarkan hasil substitusi kedua variabel ke dalam persamaan regresi. Hasil estimasi tersebut menunjukkan bahwa model mampu memberikan gambaran awal mengenai besarnya biaya konstruksi sebelum dilakukan perhitungan rinci menggunakan analisis harga satuan pekerjaan. Keberadaan model prediksi seperti ini sangat membantu proses studi kelayakan karena perencana dapat melakukan evaluasi terhadap berbagai alternatif desain berdasarkan perubahan karakteristik bendungan. Menurut Sosrodarsono dan Takeda (2003), parameter utama bendungan seperti kapasitas

tampungan dan dimensi bangunan mempunyai hubungan langsung terhadap volume pekerjaan sehingga berpengaruh terhadap total biaya konstruksi.

Model regresi yang dihasilkan juga menunjukkan bahwa variabel daya tampung bendungan memiliki koefisien regresi yang lebih besar dibandingkan panjang diversion channel sehingga memberikan kontribusi yang lebih dominan terhadap perubahan biaya konstruksi. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa peningkatan kapasitas tampungan akan berdampak lebih besar terhadap kebutuhan material, volume timbunan, pekerjaan fondasi, serta bangunan pelengkap dibandingkan peningkatan panjang saluran pengelak. Perbedaan besarnya koefisien regresi mencerminkan tingkat sensitivitas masing-masing variabel terhadap perubahan biaya sehingga dapat dijadikan dasar dalam penyusunan prioritas pengendalian biaya proyek. Temuan ini sejalan dengan konsep estimasi biaya konstruksi yang menyatakan bahwa perubahan dimensi utama bangunan akan memberikan pengaruh yang lebih besar dibandingkan perubahan pada komponen pendukung proyek (Soeharto, 1999).

Model regresi yang diperoleh dalam penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu dalam melakukan estimasi awal biaya konstruksi bendungan tipe urugan pada tahap perencanaan proyek. Penggunaan model regresi memberikan keuntungan karena mampu menghasilkan perkiraan biaya berdasarkan karakteristik utama bendungan tanpa harus melakukan perhitungan rinci terhadap seluruh item pekerjaan konstruksi. Pendekatan tersebut sangat bermanfaat pada tahap studi kelayakan maupun penyusunan anggaran awal sehingga proses pengambilan keputusan dapat dilakukan secara lebih cepat dan efisien. Menurut Soeharto (1999), model estimasi biaya yang dibangun berdasarkan data historis proyek dapat meningkatkan efektivitas proses perencanaan serta mengurangi ketidakpastian dalam penyusunan anggaran konstruksi.

Meskipun model regresi menunjukkan hubungan yang signifikan antara variabel bebas dan biaya konstruksi, hasil penelitian ini tetap memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam penerapannya. Model hanya menggunakan dua variabel independen, yaitu daya tampung bendungan dan panjang diversion channel, sedangkan biaya konstruksi bendungan pada kenyataannya dipengaruhi pula oleh kondisi geologi, tinggi bendungan, panjang puncak bendungan, jenis material timbunan, metode pelaksanaan, serta kondisi ekonomi pada saat pembangunan berlangsung. Oleh karena itu, hasil estimasi yang diperoleh melalui model regresi ini sebaiknya digunakan sebagai estimasi awal sebelum dilakukan analisis biaya secara lebih rinci berdasarkan gambar desain dan Analisis Harga Satuan Pekerjaan. Penelitian lanjutan diharapkan dapat mengembangkan model dengan menambahkan

variabel teknis lainnya sehingga kemampuan prediksi biaya konstruksi menjadi lebih baik dan memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi.

Pengaruh Daya Tampung Bendungan terhadap Biaya Konstruksi

Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa daya tampung bendungan memiliki koefisien regresi sebesar 6,471 dengan nilai t hitung sebesar 3,548 dan tingkat signifikansi sebesar 0,001. Nilai signifikansi yang lebih kecil daripada 0,05 menunjukkan bahwa daya tampung bendungan berpengaruh positif dan signifikan terhadap biaya konstruksi proyek bendungan tipe urugan sehingga hipotesis penelitian dapat diterima. Temuan ini menunjukkan bahwa setiap peningkatan kapasitas tampungan akan diikuti oleh peningkatan biaya konstruksi sesuai besarnya koefisien regresi yang dihasilkan oleh model. Hasil tersebut membuktikan bahwa daya tampung bendungan merupakan salah satu parameter utama yang menentukan besarnya biaya pembangunan bendungan.

Pengaruh positif daya tampung bendungan terhadap biaya konstruksi dapat dijelaskan melalui karakteristik fisik bangunan bendungan yang semakin kompleks ketika kapasitas tampungan meningkat. Bendungan dengan kapasitas tampungan yang besar memerlukan tubuh bendungan yang lebih tinggi, volume timbunan yang lebih besar, fondasi yang lebih kuat, serta bangunan pelengkap yang lebih lengkap dibandingkan bendungan dengan kapasitas tampungan yang lebih kecil. Kondisi tersebut menyebabkan peningkatan volume pekerjaan tanah, pekerjaan beton, pekerjaan drainase, serta penggunaan material konstruksi yang secara langsung meningkatkan total biaya pembangunan. Sosrodarsono dan Takeda (2003) menjelaskan bahwa kapasitas tampungan merupakan salah satu parameter dasar yang menentukan dimensi bangunan bendungan sehingga memiliki hubungan yang erat dengan besarnya volume pekerjaan konstruksi.

Besarnya koefisien regresi sebesar 6,471 menunjukkan bahwa variabel daya tampung memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap perubahan biaya konstruksi dibandingkan variabel lainnya dalam model penelitian ini. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa setiap kenaikan satu satuan daya tampung akan meningkatkan estimasi biaya konstruksi sebesar 6,471 satuan dengan asumsi variabel lain tetap. Hubungan positif tersebut memperlihatkan bahwa peningkatan kapasitas bendungan selalu diikuti oleh peningkatan kebutuhan sumber daya berupa material, tenaga kerja, peralatan, serta waktu pelaksanaan proyek. Menurut Soeharto (1999), peningkatan volume pekerjaan merupakan faktor dominan yang menyebabkan kenaikan biaya pada proyek konstruksi berskala besar. Hasil penelitian ini juga memperlihatkan bahwa daya tampung bendungan menjadi variabel yang memiliki pengaruh lebih besar dibandingkan panjang diversion channel apabila ditinjau dari nilai koefisien

regresinya. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa karakteristik utama bendungan memiliki kontribusi yang lebih dominan dalam membentuk biaya konstruksi dibandingkan bangunan sementara yang hanya digunakan selama proses pelaksanaan proyek. Semakin besar kapasitas bendungan maka semakin besar pula kebutuhan fasilitas pendukung seperti spillway, intake, outlet works, serta perlindungan lereng sehingga biaya proyek meningkat secara signifikan. Temuan ini sejalan dengan teori perencanaan bendungan yang menyatakan bahwa dimensi bangunan utama merupakan faktor yang paling menentukan besarnya biaya pembangunan.

Temuan penelitian ini juga mendukung berbagai penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa karakteristik fisik bendungan mempunyai hubungan yang kuat dengan besarnya biaya konstruksi. Penelitian mengenai estimasi biaya bendungan umumnya menunjukkan bahwa kapasitas tampungan merupakan salah satu variabel yang paling berpengaruh karena berkaitan langsung dengan volume pekerjaan yang harus dilaksanakan selama proses konstruksi. Kesamaan hasil tersebut menunjukkan bahwa model regresi yang diperoleh memiliki dasar teoritis yang kuat dan sesuai dengan kondisi teknis pembangunan bendungan. Oleh karena itu, daya tampung bendungan dapat dijadikan salah satu indikator utama dalam penyusunan model estimasi biaya pada tahap perencanaan awal proyek.

Hasil penelitian ini memberikan implikasi praktis bahwa informasi mengenai kapasitas tampungan bendungan dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam menyusun estimasi biaya konstruksi sejak tahap studi pendahuluan. Perencana dapat menggunakan hubungan regresi yang diperoleh untuk melakukan simulasi berbagai alternatif kapasitas tampungan sehingga dapat dipilih desain yang paling efisien dari sisi teknis maupun ekonomi. Pendekatan tersebut akan membantu proses pengambilan keputusan sebelum dilakukan perencanaan rinci dan penyusunan dokumen anggaran proyek. Dengan demikian, daya tampung bendungan tidak hanya berfungsi sebagai parameter hidrologi, tetapi juga menjadi indikator penting dalam pengendalian biaya konstruksi proyek bendungan tipe urugan.

Pengaruh Panjang Diversion Channel terhadap Biaya Konstruksi

Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa variabel panjang diversion channel memiliki koefisien regresi sebesar 0,960 dengan nilai t hitung sebesar 3,631 dan tingkat signifikansi sebesar 0,001. Nilai signifikansi yang lebih kecil daripada 0,05 menunjukkan bahwa panjang diversion channel berpengaruh positif dan signifikan terhadap biaya konstruksi proyek bendungan tipe urugan. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa semakin panjang saluran pengelak yang dibangun maka biaya konstruksi yang harus dikeluarkan juga akan semakin besar karena bertambahnya volume pekerjaan selama proses pembangunan bendungan. Temuan ini memperlihatkan bahwa diversion channel merupakan salah satu komponen

konstruksi yang memberikan kontribusi nyata terhadap pembentukan total biaya proyek meskipun bersifat sebagai bangunan sementara.

Diversion channel merupakan bangunan sementara yang berfungsi mengalihkan aliran sungai selama proses pembangunan bendungan sehingga area konstruksi tetap berada dalam kondisi kering dan aman untuk pelaksanaan pekerjaan. Keberadaan saluran pengelak sangat penting karena tanpa sistem pengalihan aliran yang memadai pekerjaan tubuh bendungan tidak dapat dilaksanakan sesuai rencana akibat gangguan debit sungai. Perencanaan diversion channel harus mempertimbangkan kondisi hidrologi, topografi, geologi, serta debit banjir rencana sehingga dimensi saluran mampu mengalirkan air dengan aman selama masa konstruksi. Menurut Chow (1988), saluran pengelak dirancang agar mampu mengendalikan aliran sungai secara efisien sehingga risiko kegagalan konstruksi akibat banjir dapat diminimalkan.

Pengaruh panjang diversion channel terhadap biaya konstruksi terjadi karena semakin panjang saluran yang direncanakan maka semakin besar pula volume pekerjaan galian tanah, pekerjaan batuan, pasangan pelindung lereng, pekerjaan beton, serta pekerjaan drainase yang harus dilaksanakan. Bertambahnya volume pekerjaan tersebut secara langsung meningkatkan kebutuhan alat berat, tenaga kerja, material konstruksi, dan waktu pelaksanaan proyek sehingga total biaya konstruksi mengalami peningkatan. Selain itu, saluran pengelak yang panjang juga memerlukan pengendalian mutu dan pengawasan lapangan yang lebih intensif agar fungsi pengalihan aliran sungai tetap berjalan dengan baik selama masa konstruksi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa panjang diversion channel memiliki hubungan yang erat dengan besarnya kebutuhan sumber daya proyek sehingga berpengaruh terhadap biaya pembangunan bendungan.

Koefisien regresi sebesar 0,960 menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu satuan panjang diversion channel akan meningkatkan estimasi biaya konstruksi sebesar 0,960 satuan dengan asumsi variabel lain tetap. Meskipun nilai koefisien tersebut lebih kecil dibandingkan koefisien daya tampung bendungan, pengaruhnya tetap signifikan secara statistik sehingga tidak dapat diabaikan dalam penyusunan model estimasi biaya konstruksi. Hasil ini menunjukkan bahwa bangunan penunjang konstruksi memiliki peran penting dalam menentukan besarnya anggaran proyek meskipun bukan merupakan bagian dari struktur utama bendungan. Menurut Soeharto (1999), seluruh pekerjaan sementara yang mendukung pelaksanaan proyek harus diperhitungkan dalam estimasi biaya karena memberikan kontribusi terhadap total biaya konstruksi.

Hasil penelitian ini sejalan dengan konsep perencanaan bendungan yang menyatakan bahwa kondisi topografi dan tata letak bangunan sangat memengaruhi panjang diversion channel yang dibutuhkan selama tahap konstruksi. Pada lokasi dengan lembah yang lebar atau kondisi geologi yang kompleks, saluran pengelak umumnya dirancang lebih panjang agar mampu melewati daerah yang aman dan stabil. Konsekuensinya adalah meningkatnya volume pekerjaan serta kebutuhan material yang menyebabkan biaya konstruksi bertambah dibandingkan lokasi yang memiliki kondisi topografi lebih sederhana. Kesesuaian antara hasil penelitian dengan teori tersebut menunjukkan bahwa panjang diversion channel merupakan salah satu variabel teknis yang layak digunakan dalam model prediksi biaya konstruksi bendungan tipe urugan.

Implikasi dari hasil penelitian ini adalah perlunya perencanaan diversion channel secara optimal sejak tahap desain awal agar biaya konstruksi dapat dikendalikan tanpa mengurangi tingkat keselamatan pelaksanaan proyek. Perencana perlu mempertimbangkan beberapa alternatif trase saluran pengelak dengan mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi, dan kemudahan pelaksanaan sehingga diperoleh desain yang paling efisien. Pendekatan tersebut tidak hanya mampu menekan biaya pembangunan tetapi juga mengurangi risiko keterlambatan pelaksanaan akibat perubahan desain selama proses konstruksi berlangsung. Oleh karena itu, panjang diversion channel dapat dijadikan salah satu indikator penting dalam penyusunan estimasi biaya proyek bendungan tipe urugan.

Pembahasan Pengaruh Simultan Daya Tampung Bendungan dan Panjang Diversion Channel terhadap Biaya Konstruksi

Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa daya tampung bendungan dan panjang diversion channel secara bersama-sama membentuk model prediksi biaya konstruksi proyek bendungan tipe urugan. Persamaan regresi yang diperoleh memperlihatkan bahwa kedua variabel memiliki koefisien bernilai positif sehingga peningkatan masing-masing variabel akan diikuti oleh peningkatan biaya konstruksi proyek. Hubungan tersebut menunjukkan bahwa biaya pembangunan bendungan tidak hanya dipengaruhi oleh satu parameter teknis, melainkan merupakan hasil interaksi berbagai karakteristik fisik bangunan yang saling berkaitan. Model regresi yang dihasilkan memberikan gambaran bahwa perubahan pada dimensi utama maupun bangunan penunjang akan memberikan konsekuensi terhadap besarnya anggaran proyek.

Berdasarkan hasil analisis, daya tampung bendungan memiliki koefisien regresi sebesar 6,471 sedangkan panjang diversion channel memiliki koefisien regresi sebesar 0,960. Perbedaan nilai koefisien tersebut menunjukkan bahwa daya tampung bendungan memberikan pengaruh yang lebih dominan terhadap perubahan biaya konstruksi dibandingkan panjang

diversion channel. Kondisi ini dapat dipahami karena peningkatan kapasitas tampungan menyebabkan perubahan dimensi tubuh bendungan, volume timbunan, luas genangan, serta kapasitas bangunan pelengkap yang jauh lebih besar dibandingkan perubahan panjang saluran pengelak. Oleh sebab itu, daya tampung bendungan menjadi faktor utama yang harus diperhatikan dalam proses estimasi biaya proyek bendungan.

Hubungan simultan kedua variabel menunjukkan bahwa penyusunan estimasi biaya konstruksi sebaiknya tidak hanya mempertimbangkan satu aspek teknis saja tetapi juga memperhatikan keterkaitan antarparameter perencanaan bendungan. Daya tampung yang besar akan meningkatkan kebutuhan pekerjaan utama, sedangkan panjang diversion channel akan meningkatkan pekerjaan sementara selama masa konstruksi sehingga keduanya secara bersama-sama membentuk total biaya proyek. Pendekatan seperti ini memberikan hasil estimasi yang lebih representatif dibandingkan model yang hanya menggunakan satu variabel bebas. Menurut Soeharto (1999), penggunaan beberapa variabel dalam model estimasi biaya akan meningkatkan kemampuan model dalam menggambarkan kondisi proyek yang sebenarnya.

Hasil penelitian ini memiliki manfaat yang cukup besar dalam proses perencanaan proyek bendungan karena model regresi dapat digunakan sebagai alat bantu untuk memperkirakan biaya konstruksi pada tahap awal perencanaan. Perencana dapat melakukan simulasi perubahan kapasitas tampungan maupun panjang diversion channel untuk mengetahui dampaknya terhadap perubahan biaya konstruksi sebelum desain rinci disusun. Informasi tersebut akan membantu proses evaluasi berbagai alternatif desain sehingga keputusan yang diambil menjadi lebih efisien dari sisi teknis maupun ekonomi. Dengan demikian, model regresi tidak hanya berfungsi sebagai alat analisis statistik tetapi juga sebagai instrumen pendukung pengambilan keputusan dalam manajemen proyek konstruksi.

Meskipun model regresi yang diperoleh telah menunjukkan hubungan yang signifikan, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena hanya menggunakan dua variabel bebas sebagai prediktor biaya konstruksi. Dalam praktik pembangunan bendungan, biaya konstruksi juga dipengaruhi oleh faktor lain seperti tinggi bendungan, panjang puncak bendungan, kondisi geologi fondasi, jenis material timbunan, metode pelaksanaan konstruksi, akses menuju lokasi proyek, serta fluktuasi harga material dan tenaga kerja. Penambahan variabel tersebut pada penelitian berikutnya diharapkan mampu meningkatkan nilai akurasi model sehingga hasil estimasi biaya menjadi lebih mendekati kondisi aktual di lapangan. Oleh karena itu, model yang dihasilkan dalam penelitian ini perlu dipandang sebagai model estimasi awal yang masih dapat dikembangkan lebih lanjut.

Secara keseluruhan hasil penelitian menunjukkan bahwa daya tampung bendungan dan panjang diversion channel merupakan variabel yang berpengaruh nyata terhadap biaya konstruksi proyek bendungan tipe urugan. Hubungan positif kedua variabel tersebut memberikan dasar ilmiah bahwa karakteristik teknis bendungan harus menjadi perhatian utama dalam proses penyusunan anggaran biaya maupun evaluasi kelayakan proyek. Temuan penelitian ini memperkuat teori mengenai hubungan antara dimensi bangunan, volume pekerjaan, dan kebutuhan biaya konstruksi sebagaimana dijelaskan oleh Sosrodarsono dan Takeda (2003) serta Soeharto (1999). Dengan demikian, model regresi yang diperoleh dapat dijadikan referensi dalam pengembangan metode estimasi biaya konstruksi bendungan yang lebih sederhana, cepat, dan tetap memiliki dasar analisis statistik yang dapat dipertanggungjawabkan.

5. SIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya tampung bendungan dan panjang *diversion channel* merupakan variabel yang berpengaruh positif terhadap biaya konstruksi proyek bendungan tipe urugan. Berdasarkan analisis regresi linier berganda diperoleh persamaan $Y = 636,397 + 6,471X_1 + 0,960X_2$, yang menunjukkan bahwa peningkatan daya tampung bendungan maupun panjang *diversion channel* akan diikuti oleh peningkatan biaya konstruksi. Variabel daya tampung bendungan memiliki pengaruh yang lebih dominan dibandingkan panjang *diversion channel*, ditunjukkan oleh koefisien regresi sebesar 6,471 dengan nilai signifikansi 0,001, sedangkan panjang *diversion channel* memiliki koefisien regresi sebesar 0,960 dengan nilai signifikansi 0,001, sehingga kedua variabel terbukti berpengaruh signifikan terhadap biaya konstruksi proyek bendungan tipe urugan. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa karakteristik teknis bendungan menjadi faktor utama yang perlu diperhatikan dalam penyusunan estimasi biaya karena berhubungan langsung dengan peningkatan volume pekerjaan, kebutuhan material, penggunaan peralatan, tenaga kerja, serta waktu pelaksanaan proyek.

Model regresi yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu dalam melakukan estimasi awal biaya konstruksi pada tahap studi kelayakan maupun perencanaan proyek sehingga proses pengambilan keputusan dapat dilakukan secara lebih efektif dan efisien. Meskipun demikian, model penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena hanya menggunakan dua variabel independen, sedangkan biaya konstruksi bendungan juga dipengaruhi oleh faktor lain seperti tinggi bendungan, panjang puncak bendungan, kondisi geologi, jenis material timbunan, metode pelaksanaan, dan kondisi ekonomi proyek. Oleh

karena itu, penelitian selanjutnya disarankan menambahkan variabel-variabel tersebut serta menggunakan jumlah sampel yang lebih banyak agar model prediksi biaya konstruksi memiliki tingkat akurasi dan kemampuan generalisasi yang lebih baik. Dengan pengembangan tersebut, model estimasi biaya diharapkan dapat menjadi referensi yang lebih komprehensif dalam mendukung perencanaan dan pengelolaan proyek bendungan tipe urugan di masa mendatang.

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan agar model regresi yang diperoleh dapat dimanfaatkan sebagai referensi dalam penyusunan estimasi awal biaya konstruksi proyek bendungan tipe urugan, khususnya pada tahap studi kelayakan dan perencanaan awal. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengembangkan model prediksi dengan menambahkan variabel-variabel lain yang berpotensi memengaruhi biaya konstruksi, seperti tinggi bendungan, panjang puncak bendungan, kondisi geologi fondasi, jenis material timbunan, metode pelaksanaan konstruksi, serta faktor ekonomi seperti inflasi dan harga material. Selain itu, penggunaan jumlah sampel yang lebih banyak dan mencakup proyek bendungan dari berbagai wilayah di Indonesia juga diperlukan agar model yang dihasilkan memiliki tingkat akurasi dan kemampuan generalisasi yang lebih baik. Dengan demikian, model estimasi biaya yang dikembangkan diharapkan dapat menjadi acuan yang lebih komprehensif dalam mendukung perencanaan, pengendalian biaya, dan pengambilan keputusan pada proyek pembangunan bendungan tipe urugan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, H., & Putra, A. (2025). Identification of factors causing cost increases in infrastructure projects. *Eduvest – Journal of Universal Studies*, 5(2), 1425–1436. <https://doi.org/10.59188/eduvest.v5i2.1713>
- Ansar, A., Flyvbjerg, B., Budzier, A., & Lunn, D. (2014). Should we build more large dams? The actual costs of hydropower megaproject development. *Energy Policy*, 69, 43–56. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.069>
- Ashworth, A. (1994). *Cost studies of buildings*. Longman.
- Asiyanto. (2011). *Metode konstruksi bendungan*. UI Press.
- AWI Engineering and Consulting Plc. (2006). *Design guideline for embankment dams for irrigation purpose*.
- Ghozali, I. (2011). *Aplikasi analisis multivariate dengan program IBM SPSS 19* (5th ed.). Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Gill, A. S., Visotsky, D., Mears, L., & Summers, J. D. (2017). Cost estimation model for polyacrylonitrile-based carbon fiber manufacturing process. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 139(4). <https://doi.org/10.1115/1.4034713>
- Gunduz, M., & Sahin, H. B. (2015). An early cost estimation model for hydroelectric power plant projects using neural networks and multiple regression analysis. *Journal of Civil*

- Engineering and Management*, 21(4), 470–477.
<https://doi.org/10.3846/13923730.2014.890657>
- Hase, N., Maizuar, M., & Jalil, A. (2024). Risiko *cost overrun* dalam pelaksanaan proyek konstruksi gedung di Provinsi Aceh. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan*, 7(1), 53–62. <https://doi.org/10.24815/jarsp.v7i1.36823>
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2022). *Rampung tahun depan, Bendungan Keureuto mampu kendalikan banjir dan penuhi kebutuhan air di Aceh Utara*. <https://pu.go.id>
- Kerzner, H. (2017). *Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling* (12th ed.). Wiley.
- Khatsuria, R. M. (2004). *Hydraulics of spillways and energy dissipators*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203996980>
- Kim, K. J., Kim, K., & Kang, C. S. (2009). Approximate cost estimating model for PSC beam bridge based on quantity of standard work. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 13(6), 377–388. <https://doi.org/10.1007/s12205-009-0377-0>
- Knutson, K., Schexnayder, C. J., Fiori, C. M., & Mayo, R. E. (2004). *Construction management fundamentals*. McGraw-Hill.
- Kompas.com. (2019). *Anggaran infrastruktur 2019 tembus Rp415 triliun*.
- Kompas.com. (2021). *Pemerintah siapkan Rp384,8 triliun untuk pembangunan infrastruktur tahun anggaran 2022*.
- Kontan.co.id. (2023). *Pemerintah anggarkan Rp422,7 triliun untuk sektor infrastruktur di RAPBN 2024*.
- Lembaga Ketahanan Nasional Republik Indonesia. (2021). *Lemhannas RI bekerja sama dengan CSIS dan Kompas luncurkan buku Indonesia Menuju 2045*.
- Macan, T. H. (1994). Time management: Test of a process model. *Journal of Applied Psychology*, 79(3), 381–391. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.79.3.381>
- Mahyuddin, Ritnawati, Rachim, F., Erdawaty, Pandarangga, A., Ulfiyati, Y., Sidiq, R., & Rosyta, A. (2023). *Manajemen proyek konstruksi*. Penerbit Widina.
- Marshall, R. A. (2007). *The contribution of earned value management to project success on contracted efforts* (Master's thesis). University of Pretoria.
- Olawale, Y. A., & Sun, M. (2010). Cost and time control of construction projects: Inhibiting factors and mitigating measures in practice. *Construction Management and Economics*, 28(5), 509–526. <https://doi.org/10.1080/01446191003674519>
- Petheram, C., & McMahon, T. A. (2019). Dams, dam costs and damnable cost overruns. *Journal of Hydrology X*, 3, 100026. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2019.100026>
- Phaobunjong, K. (2002). *Parametric cost estimating model for conceptual cost estimating of building construction projects* (Doctoral dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University).
- Pratiwi, R. E. (2012). Analisis pengaruh *cost management* terhadap efisiensi pada proyek konstruksi: Studi pada PT Adhi Karya (Persero) Tbk. *Jurnal Ceylan*, 21(2).
- Project Management Institute. (2000). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide)*.

- Project Management Institute. (2013). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide)* (5th ed.).
- Project Management Institute. (2021). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide)* (7th ed.).
- Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi. (2016). *Perencanaan bangunan utama bendungan*.
- Sejati, W., Pusoko, A. N. B. S., Aryadi, E. V., Andajani, S., Hidayat, D. P. A., Kurniyaningrum, E., & O'Connor, N. Z. (2024). Flood routing and dam breach parameter calculation on Sepaku Semoi Dam. *Aptisi Transactions on Technopreneurship*, 6(1), 136–148. <https://doi.org/10.34306/att.v6i1.396>
- Turner, J. R., Grude, K. V., & Thurloway, L. (1996). *The project manager as change agent: Leadership, influence and negotiation*. McGraw-Hill.
- TVOneNews.com. (2024). *10 tahun bangun infrastruktur, Jokowi habiskan anggaran segini: Apa saja wujudnya?*
- United States Department of the Interior. (1987). *Design of small dams* (3rd ed.). U.S. Government Printing Office.
- Vischer, D. L., & Hager, W. H. (1998). *Dam hydraulics*. John Wiley & Sons.
- Wiriodiningrat, P. (1997). *ISO 9000 untuk kontraktor*. Gramedia Pustaka Utama.