

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Estimasi biaya konstruksi merupakan salah satu aspek paling penting dalam manajemen proyek karena menjadi dasar perencanaan anggaran, pengendalian biaya, serta pengambilan keputusan strategis (Shamim et al., 2025). Ketidakakuratan estimasi dapat menimbulkan keterlambatan pekerjaan, pembengkakan anggaran, dan penurunan kepercayaan publik terhadap pengelolaan dana, khususnya pada proyek pemerintah yang menggunakan anggaran publik (Alshihri et al., 2022). Tantangan ini semakin nyata di negara berkembang, di mana deviasi antara anggaran rencana dan realisasi kerap terjadi akibat lemahnya dokumentasi, keterbatasan data historis, serta fluktuasi harga material (Chadee et al., 2023). Kondisi tersebut menegaskan perlunya model estimasi biaya yang lebih adaptif dan mampu menangkap kompleksitas faktor-faktor yang memengaruhi biaya konstruksi.

Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa biaya konstruksi dipengaruhi oleh berbagai variabel yang memiliki pengaruh signifikan terhadap total anggaran. Jenis bangunan menentukan spesifikasi teknis dan kebutuhan material, sehingga proyek sekolah, kantor desa, atau fasilitas kesehatan menunjukkan perbedaan biaya yang nyata (Rachman Waliulu, 2020; Sadick et al., 2025). Luas bangunan berkorelasi langsung dengan volume pekerjaan, di mana semakin besar luas bangunan semakin tinggi kebutuhan material dan tenaga kerja

(Bebasari et al., 2025). Lokasi proyek turut memengaruhi biaya karena perbedaan geografis berhubungan dengan aksesibilitas, transportasi material, serta ketersediaan tenaga kerja. Jayathilaka et al., (2022) dan Uvarova et al., (2023) melaporkan bahwa variasi spasial dapat menimbulkan perbedaan biaya hingga 20% antarwilayah. Faktor lain yang dominan adalah harga material lokal, yang umumnya menyumbang 50 – 70% dari total anggaran (Alani et al., 2025; Asmi et al., 2024). Selain itu, tahun pelaksanaan berpengaruh melalui inflasi, nilai tukar, maupun kebijakan fiskal yang berlaku (Jayathilaka et al., 2022). Terakhir, jarak ke ibu kota distrik dapat digunakan sebagai indikator kesulitan logistik, karena biaya mobilisasi alat dan material meningkat seiring bertambahnya jarak (Uvarova et al., 2023).

Berbagai pendekatan konvensional telah digunakan untuk memperkirakan biaya proyek, mulai dari analisis harga satuan, *analogous estimation*, hingga metode statistik seperti *Multiple Regression Analysis* (MRA). Analisis harga satuan banyak digunakan dalam praktik karena sederhana dan berbasis pada database harga, tetapi akurasi sangat bergantung pada kelengkapan data dan sering kali tidak mencerminkan kondisi geografis setempat (Hu & Skibniewski, 2021). *Analogous estimation*, yaitu estimasi berdasarkan proyek serupa, lazim digunakan pada tahap awal, namun kurang akurat karena setiap proyek memiliki karakteristik berbeda (F.H et al., 2025). Selain itu, banyak estimator di lapangan masih mengandalkan intuisi dan pengalaman, yang meski praktis, rawan bias dan berkontribusi pada deviasi biaya (Fujii & Shioda, 2023). MRA sendiri banyak diterapkan, tetapi hasilnya kurang memuaskan ketika variabel yang memengaruhi

biaya saling berhubungan secara kompleks (Sitthikankun et al., 2021; Trijeti et al., 2023). Dengan demikian, metode manual maupun linier tradisional belum mampu memberikan prediksi yang konsisten dan akurat.

Seiring perkembangan teknologi, *Artificial Neural Network* (ANN) mulai banyak digunakan sebagai alternatif yang dapat mengatasi keterbatasan tersebut. ANN memiliki kemampuan mengenali pola nonlinier antar variabel dan beradaptasi dengan data yang kompleks, sehingga menghasilkan estimasi yang lebih akurat (Haykin, 2009). Penelitian Cho et al. (2013) menunjukkan bahwa ANN memberikan rata-rata error hanya 7,99%, jauh lebih rendah dibandingkan MRA pada 96 proyek sekolah dasar di Korea. Sitthikankun et al. (2021) berhasil menekan *tolerance error* hingga 8,53% pada proyek pemerintah di Thailand dengan menggunakan dua *hidden layer*, bahkan dengan hanya 50 dataset akurasi tetap terjaga di bawah 10%. Abbas et al. (2019) mengembangkan model prediksi biaya berbasis ANN pada 501 proyek konstruksi di Irak dan memperoleh nilai R^2 sebesar 0,996 dengan *Mean Squared Error* (MSE) hanya 1,541, menunjukkan akurasi yang sangat tinggi. Al-Tawal et al. (2021) mencatat akurasi hingga 98% setelah mengidentifikasi variabel dominan menggunakan metode Delphi. Penelitian lain oleh Lishner & Shtub. (2022) membuktikan fleksibilitas ANN dalam memprediksi durasi proyek dengan menurunkan MAE hampir 50% dibandingkan metode tradisional, yang relevan juga dengan estimasi biaya. Temuan-temuan tersebut menegaskan keunggulan ANN dalam menghasilkan prediksi yang lebih stabil dan akurat.

Meskipun banyak penelitian telah menunjukkan superioritas ANN, sebagian besar studi dilakukan di negara maju atau menggunakan dataset besar yang terstruktur. Konteks negara berkembang seperti Timor-Leste masih jarang menjadi fokus kajian, padahal kondisi lokal menghadirkan tantangan unik berupa keterbatasan data, variasi geografis, dan volatilitas harga material. Oleh karena itu, penelitian ini berupaya mengisi celah tersebut dengan mengembangkan metode estimasi biaya berbasis ANN yang mempertimbangkan faktor-faktor khas lokal, sehingga dapat meningkatkan akurasi estimasi sekaligus mendukung transparansi dan akuntabilitas proyek pemerintah di Timor-Leste.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Teori Estimasi Biaya Konstruksi

Estimasi biaya konstruksi didasarkan pada teori ekonomi mikro yang menjelaskan bagaimana harga terbentuk dari interaksi antara penawaran (*supply*) dan permintaan (*demand*) dalam pasar konstruksi. Menurut teori ini, biaya konstruksi merupakan fungsi dari berbagai input produksi yang meliputi material, tenaga kerja, peralatan, dan faktor-faktor lainnya (Jin et al., 2019).

Teori estimasi biaya konstruksi modern mengakui bahwa biaya proyek tidak hanya ditentukan oleh kuantitas fisik pekerjaan, tetapi juga oleh berbagai faktor kontekstual seperti lokasi, waktu, kondisi pasar, dan karakteristik proyek yang spesifik. Fujii & Shioda, (2023) menjelaskan bahwa estimasi biaya yang akurat

memerlukan pemahaman yang mendalam tentang hubungan kompleks antara berbagai variabel yang mempengaruhi biaya.

Konsep *cost modeling* dalam konstruksi berkembang dari pendekatan deterministik sederhana menjadi pendekatan probabilistik yang mampu menangani ketidakpastian dan variabilitas. Jin et al., (2019) menekankan bahwa model estimasi biaya yang efektif harus mampu mengakomodasi sifat stokastik dari proses konstruksi dan faktor-faktor eksternal yang mempengaruhinya.

2.2.2 *Artificial Neural Network*

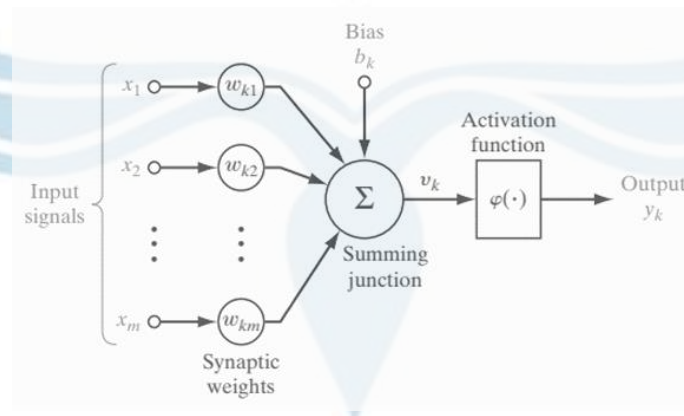
Artificial Neural Network (ANN) adalah paradigma komputasi yang terinspirasi dari cara kerja sistem saraf biologis. Konsep dasar ANN dikembangkan berdasarkan model neuron buatan yang diperkenalkan oleh (McCulloch, W. S., & Pitts, 1943), yang kemudian berkembang menjadi arsitektur jaringan yang kompleks dan mampu melakukan pembelajaran adaptif.

Menurut (Haykin, 2009), ANN dapat didefinisikan sebagai sistem pemrosesan informasi terdistribusi dan paralel yang terdiri dari unit-unit pemroses sederhana (*neuron*) yang saling terhubung melalui koneksi berbobot. Setiap neuron menerima sinyal *input*, melakukan transformasi non-linier, dan menghasilkan *output* yang diteruskan ke neuron-neuron lainnya dalam jaringan.

Prinsip dasar pembelajaran dalam ANN adalah penyesuaian bobot koneksi antar neuron berdasarkan data pelatihan yang diberikan. Algoritma *backpropagation* yang dikembangkan oleh Rumelhart et al. (1986) menjadi metode

pembelajaran yang paling populer untuk *multilayer perceptron*, di mana *error* yang terjadi pada *output* layer dipropagasi mundur untuk menyesuaikan bobot-bobot koneksi dalam jaringan.

Pada jaringan syaraf tiruan, terdapat komponen lain yang dapat mempengaruhi hasil dari pemodelan selain beberapa komponen yang telah dijelaskan sebelumnya. Komponen bias pada jaringan syaraf tiruan dapat mempengaruhi hasil dari model neuron yang dibentuk. Menurut (Haykin, 2009) bias dapat mengurangi atau menambah hasil dari neuron yang dibentuk berdasarkan data yang di input tergantung pada nilai bias itu sendiri. Selain itu terdapat pembobot (w) yang akan mempengaruhi nilai input yang digunakan. Untuk mengilustrasikan pernyataan tersebut disajikan gambar tentang ilustrasi model neuron pada **Gambar 2. 1**.



Gambar 2. 1 Ilustrasi Neuron

(Sumber: Haykin, 2009)

2.3 Kerangka Teoritis Penelitian

Berdasarkan teori-teori yang telah diuraikan, penelitian ini mengembangkan kerangka teoritis yang menggabungkan teori estimasi biaya konstruksi dengan teori ANN untuk menghasilkan metode prediksi yang akurat dan adaptif terhadap kondisi lokal Timor-Leste.

Metode konseptual penelitian ini menghubungkan enam variabel prediktor utama (lokasi proyek, jenis bangunan, luas bangunan, harga material lokal, tahun pelaksanaan, dan jarak dari ibu kota distrik) dengan biaya proyek konstruksi melalui arsitektur ANN yang dioptimalkan. Metode ini didasarkan pada premis bahwa hubungan antara variabel-variabel tersebut dengan biaya proyek bersifat non-linier dan kompleks, sehingga memerlukan pendekatan *machine learning* yang mampu menangkap pola-pola tersebut.

Kerangka teoritis ini juga mengakui bahwa karakteristik unik negara berkembang seperti Timor-Leste memerlukan adaptasi khusus dalam metodologi estimasi biaya. Faktor-faktor seperti ketergantungan terhadap impor material, infrastruktur transportasi yang terbatas, dan variasi geografis yang signifikan perlu diintegrasikan untuk menghasilkan prediksi yang realistis dan dapat diandalkan.