

TESIS

STUDI KOMPARASI METODE ESTIMASI BIAYA KONSTRUKSI TALUD SUNGAI DI KABUPATEN GROBOGAN MENGGUNAKAN *COST SIGNIFICANT MODEL* DAN *ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS*

Disusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Mencapai Gelar Magister Teknik (M.T.)



Oleh :

RIZKY TULUS PANUWUN

NIM : 20202400033

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG
2025**

LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

**STUDI KOMPARASI METODE ESTIMASI BIAYA KONSTRUKSI
TALUD SUNGAI DI KABUPATEN GROBOGAN MENGGUNAKAN
COST SIGNIFICANT MODEL DAN *ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS***

Disusun oleh :

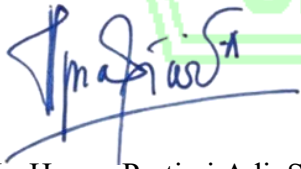
RIZKY TULUS PANUWUN

NIM : 20202400033

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Tanggal, 10 Oktober 2025

Pembimbing I,



Prof . Dr. Ir. Henny Pratiwi Adi, S.T., M.T.

NIK. 210200030

Tanggal, 10 Oktober 2025

Pembimbing II,



Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si

NIK. 210288011

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

STUDI KOMPARASI METODE ESTIMASI BIAYA KONSTRUKSI TALUD SUNGAI DI KABUPATEN GROBOGAN MENGGUNAKAN *COST SIGNIFICANT MODEL* DAN *ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS*

Disusun oleh :

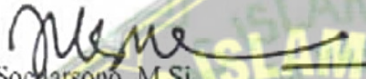
RIZKY TULUS PANUWUN

NIM : 20202400033

Dipertahankan di Depan Tim Penguji Tanggal :
24 Oktober 2025

Tim Penguji:

1. Ketua


Dr. Ir. Soedarsono, M.Si
NIK 210288011

2. Anggota


Prof. Dr. Ir. S. Imam Wahyudi, D.E.A
NIK 210294014

3. Anggota


Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, S.T., S.S., M.T.
NIK 210222097

Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.)

Semarang, 3 November 2025

Mengetahui,

Ketua Program Studi


Prof. Dr. Ir. Antonius, M.T., IPU
UNISSULA NIK. 210202033

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik


Dr. Abdul Rochim, S.T., M.T.
UNISSULA NIK. 210200031

MOTTO

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ
عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ ۚ وَلَوْ آمَنَ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ
خَيْرًا لَهُمْ ۚ مِنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ

"Kamu adalah umat yang terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh kepada yang ma'ruf, dan mencegah dari yang munkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka, di antara mereka ada yang beriman, dan kebanyakan mereka adalah orang-orang yang fasik." (QS. Ali Imran: 110)

اٰخِرُضْ عَلٰى مَا يَنْفَعُكَ وَاسْتَعِزْ بِاللّٰهِ وَلَا تَعْجِزْ

"Bersemangatlah pada apa yang bermanfaat bagimu, minta tolonglah kepada Allah, dan jangan malas." (HR. Imam Muslim)



HALAMAN PERSEMBAHAN

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.” (QS. Al-Insyirah: 6)

Karya sederhana ini kupersembahkan dengan segala kerendahan hati kepada:

1. Kedua orang tuaku,
atas segala doa dan pengorbanan yang tiada henti. Semoga yang sedikit ini bisa membuatmu bangga. Untuk *Abah rahimahullah*, semoga Allah mengampuni dan menempatkannya di surga-Nya yang terbaik.
2. Mertuaku yang mulia,
terima kasih atas doa dan dukungannya. Mohon maaf bila selama ini masih banyak merepotkan.
3. Istriku tercinta,
atas kesabaran, pengertian, dan dukungan tanpa batas dalam setiap perjuangan. Engkaulah sumber semangat dan inspirasi di setiap langkahku.
4. Anak-anakku tersayang (Sahla, Salim, Saida),
penyejuk mata yang menjadi cahaya hati dan alasan untuk terus berjuang dan memberi teladan.
5. Semua pihak yang telah membantu dan memberi dukungan,
yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, namun telah menjadi bagian penting dalam terselesaikannya penelitian dan penulisan tesis ini.

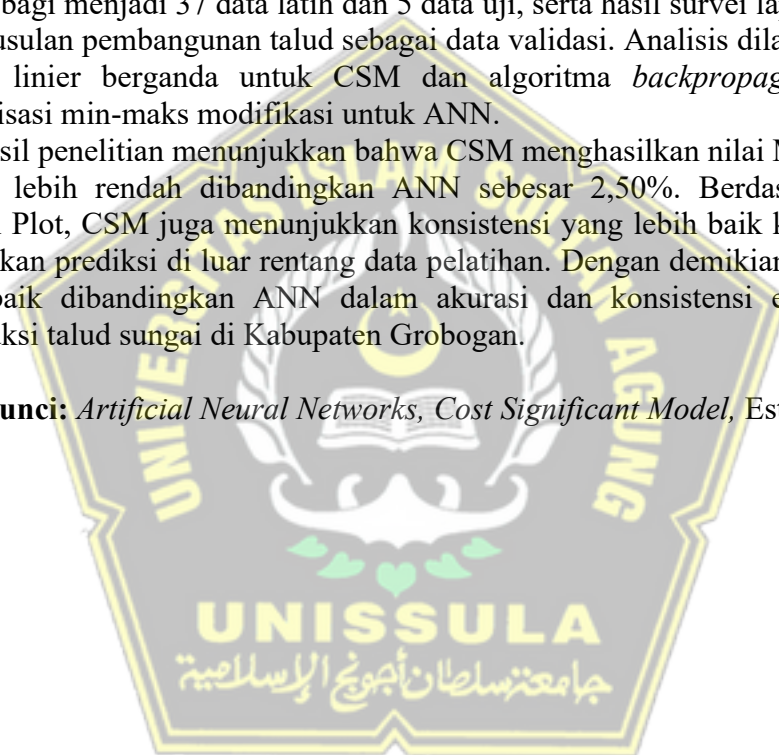
ABSTRAK

Kabupaten Grobogan di Provinsi Jawa Tengah memiliki tingkat risiko banjir yang tinggi, sehingga pembangunan talud sungai menjadi strategi infrastruktur penting dalam mitigasi bencana untuk melindungi kawasan permukiman di sepanjang aliran sungai. Estimasi biaya konstruksi pada tahap perencanaan awal berperan penting dalam ketepatan anggaran dan keputusan teknis, namun metode yang ada masih sederhana dengan akurasi yang terbatas. Penelitian ini bertujuan mengembangkan metode estimasi yang lebih sistematis, objektif, efisien, dan akurat sebagai acuan perencanaan proyek pembangunan talud.

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Cost Significant Model* (CSM) dan *Artificial Neural Networks* (ANN) untuk mengestimasi biaya pembangunan talud sungai di Kabupaten Grobogan. Data yang digunakan terdiri dari 42 dokumen RAB yang dibagi menjadi 37 data latih dan 5 data uji, serta hasil survei lapangan pada 7 lokasi usulan pembangunan talud sebagai data validasi. Analisis dilakukan dengan regresi linier berganda untuk CSM dan algoritma *backpropagation* dengan normalisasi min-maks modifikasi untuk ANN.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa CSM menghasilkan nilai MAPE sebesar 1,70%, lebih rendah dibandingkan ANN sebesar 2,50%. Berdasarkan Bland-Altman Plot, CSM juga menunjukkan konsistensi yang lebih baik karena mampu melakukan prediksi di luar rentang data pelatihan. Dengan demikian, CSM dinilai lebih baik dibandingkan ANN dalam akurasi dan konsistensi estimasi biaya konstruksi talud sungai di Kabupaten Grobogan.

Kata kunci: *Artificial Neural Networks, Cost Significant Model, Estimasi Biaya*



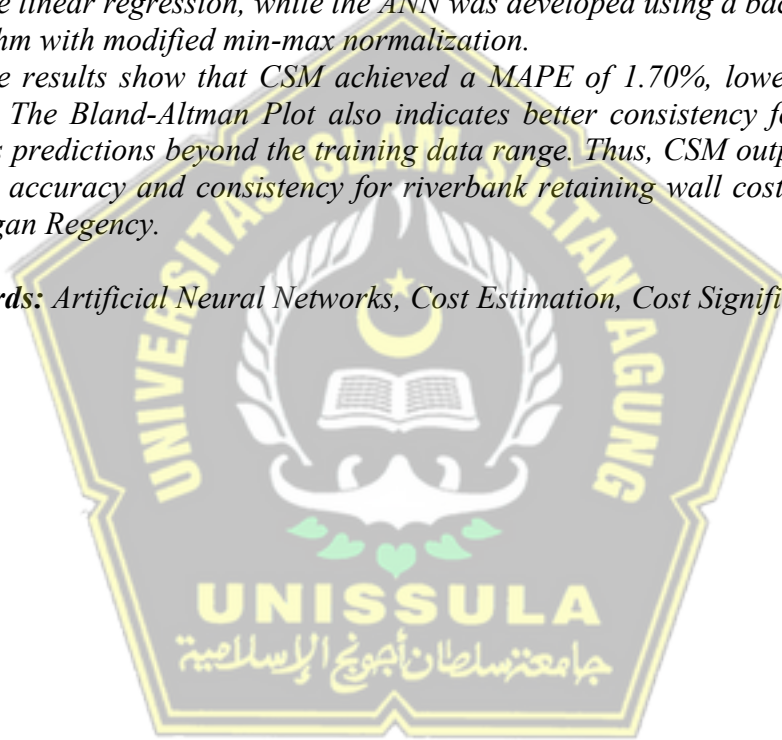
ABSTRACT

Grobogan Regency in Central Java Province faces a high flood risk, making riverbank retaining wall construction a key infrastructure strategy for disaster mitigation. Accurate early-stage cost estimation is essential for effective budgeting and decision-making; however, existing methods remain simple and less reliable. This study aims to develop a more systematic, objective, and accurate cost estimation approach for retaining wall project planning.

The study employs the Cost Significant Model (CSM) and Artificial Neural Networks (ANN) approaches to estimate the construction costs of riverbank retaining walls in Grobogan Regency. The dataset consists of 42 project cost documents, divided into 37 training and 5 testing samples, supplemented by field surveys from 7 proposed project sites for validation. The CSM was analyzed using multiple linear regression, while the ANN was developed using a backpropagation algorithm with modified min-max normalization.

The results show that CSM achieved a MAPE of 1.70%, lower than ANN's 2.50%. The Bland-Altman Plot also indicates better consistency for CSM, as it enables predictions beyond the training data range. Thus, CSM outperforms ANN in both accuracy and consistency for riverbank retaining wall cost estimation in Grobogan Regency.

Keywords: Artificial Neural Networks, Cost Estimation, Cost Significant Model



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : RIZKY TULUS PANUWUN
NIM : 20202400033

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa tesis yang berjudul:

**“STUDI KOMPARASI METODE ESTIMASI BIAYA KONSTRUKSI
TALUD SUNGAI DI KABUPATEN GROBOGAN MENGGUNAKAN
COST SIGNIFICANT MODEL DAN *ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS*”**

Adalah benar hasil karya saya dan dengan penuh kesadaran bahwa saya tidak melakukan tindakan plagiasi atau mengambil alih seluruh atau sebagian besar karya tulis orang lain tanpa menyebutkan sumbernya. Jika saya terbukti melakukan tindakan plagiasi, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku.

Semarang, 24 Oktober 2025



RIZKY TULUS PANUWUN

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah Subhanahu wa Ta'ala, atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul **“Studi Komparasi Metode Estimasi Biaya Konstruksi Talud Sungai di Kabupaten Grobogan Menggunakan *Cost Significant Model* dan *Artificial Neural Networks*”**. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) pada Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Dalam kesempatan ini, penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Henny Pratiwi Adi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I, atas arahan, motivasi, dan bimbingan ilmiah yang sangat berharga selama proses penyusunan tesis ini.
2. Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si., selaku Dosen Pembimbing II, atas masukan, perhatian, serta dorongan dalam penyempurnaan penelitian ini.
3. Prof. Dr. Ir. Antonius, M.T., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang, atas dukungan dan fasilitas yang diberikan.
4. Seluruh dosen dan staf Magister Teknik Sipil UNISSULA, atas ilmu, wawasan, dan bantuan yang telah diberikan selama masa studi.
5. Keluarga tercinta, yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dan semangat yang tiada henti kepada penulis.
6. Rekan-rekan mahasiswa seperjuangan, atas kebersamaan dan dukungan moral selama proses penyusunan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan karya ilmiah ini di masa mendatang. Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang manajemen rekayasa konstruksi.

Semarang, Oktober 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN TESIS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN TESIS.....	iii
MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN.....	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Keaslian Penelitian.....	4
1.6 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Estimasi Biaya Konstruksi	6
2.2 <i>Cost Significant Model</i>	8
2.2.1 Definisi CSM	8
2.2.2 Prinsip Dasar CSM.....	8
2.2.3 Langkah-Langkah Penerapan CSM	9
2.2.4 Kelebihan dan Keterbatasan CSM	10
2.3 <i>Artificial Neural Networks</i>	10
2.3.1 Pengertian ANN	10
2.3.2 Struktur dan Komponen ANN	11
2.3.3 Proses Pembelajaran dengan Algoritma <i>Backpropagation</i>	13
2.3.4 Variabel <i>Input</i> dan <i>Output</i> dalam ANN	14
2.3.5 Keunggulan dan Keterbatasan ANN	14

2.4 Talud Sungai Sebagai Infrastruktur Pengendali Banjir.....	16
2.5 Evaluasi Kinerja Model Estimasi.....	17
2.5.1 <i>Mean Absolute Percentage Error</i> (MAPE).....	17
2.5.2 Bland-Altman Plot	18
2.6 Penelitian Terdahulu	20
BAB III METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Bentuk Penelitian	25
3.2 Lokasi Penelitian.....	26
3.3 Data Penelitian	27
3.3.1 Data Sekunder	27
3.3.2 Data Primer	28
3.4 Variabel Penelitian	28
3.5 Teknik Pengolahan Data	29
3.5.1 Pengolahan Data Sekunder	29
3.5.2 Pengolahan Data untuk Metode CSM.....	29
3.5.3 Pengolahan Data untuk Metode ANN.....	31
3.5.4 Pengolahan Data Primer untuk Validasi	31
3.6 Metode Analisis Data.....	31
3.6.1 Analisis dengan CSM.....	31
3.6.2 Analisis dengan ANN	33
3.6.3 Perbandingan dan Evaluasi Metode.....	33
3.7 Bagan Alir Penelitian	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Gambaran Umum Data Proyek Studi.....	35
4.1.1 Data Profil Pekerjaan	35
4.1.2 Data Inflasi	44
4.1.3 Data Survei Pengukuran.....	45
4.2 Pengolahan Data.....	47
4.3 Menentukan <i>Cost Significant Items</i>	55
4.4 Bentuk Estimasi Biaya dengan CSM	56
4.4.1 Uji Normalitas.....	58
4.4.2 Uji Multikolinearitas	59
4.4.3 Uji Heteroskedastisitas.....	59
4.4.4 Uji Autokorelasi	60

4.4.5 Analisis Regresi Linier.....	62
4.4.6 Uji t Parsial.....	63
4.4.7 Uji F	64
4.5 Bentuk Estimasi Biaya dengan ANN.....	65
4.5.1 Persiapan Data.....	65
4.5.2 Normalisasi Data	67
4.5.3 Perancangan Arsitektur Jaringan.....	70
4.5.4 Proses Pelatihan	74
4.5.5 Hasil Pelatihan	80
4.6 Perbandingan Akurasi CSM dan ANN	81
4.6.1 Estimasi dengan CSM.....	81
4.6.2 Estimasi dengan ANN.....	82
4.6.3 Perbandingan Akurasi Menggunakan MAPE	83
4.7. Perbandingan Konsistensi CSM dan ANN	84
4.7.1 Penerapan Estimasi dengan CSM	88
4.7.2 Penerapan Estimasi dengan ANN	88
4.7.3 Perbandingan Konsistensi Menggunakan <i>Bland-Altman Plot</i>	90
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	92
5.1 Kesimpulan	92
5.2 Saran.....	93
DAFTAR PUSTAKA	94

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arsitektur Algoritma ANN (Tahapari et al., 2021; Windarto et al., 2020)	12
Gambar 2.2 Dimensi Tipikal Dinding Penahan Tanah Tipe Gravitasi (SNI 8460:2017)	16
Gambar 2.3 Bentuk <i>Scatter Plot</i> Bland-Altman (DATAtab Team, 2025).....	19
Gambar 3.1 Lokasi Riset di Kabupaten Grobogan	27
Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian	34
Gambar 4.1 Peta Lokasi Survei Lapangan	47
Gambar 4.2 Proporsi Komponen Biaya	56
Gambar 4.3 Grafik Normal P-Plot	58
Gambar 4.4 Tampilan <i>Workspace</i> untuk <i>Data Input</i>	70
Gambar 4.5 Tampilan <i>Workspace</i> untuk <i>Data Target</i>	71
Gambar 4.6 <i>User Interface Neural Network/Data Manager (nntool)</i>	71
Gambar 4.7 Tampilan untuk Properti Jaringan	72
Gambar 4.8 Penentuan Parameter Jaringan	73
Gambar 4.9 Bentuk Arsitektur Jaringan: 8 <i>Input</i> , 1 <i>Hidden Layer</i> dengan 1 Neuron, 1 <i>Output Layer</i> , dan 1 <i>Output</i>	73
Gambar 4.10 Hasil Pelatihan ANN dengan 1 Neuron	74
Gambar 4.11 Kinerja ANN dengan 1 Neuron pada <i>Hidden Layer</i>	75
Gambar 4.12 Plot Regresi Antara Nilai Target dengan Nilai Prediksi untuk 1 Neuron pada <i>Hidden Layer</i>	75
Gambar 4.13 Hasil Pelatihan dengan 3 Neuron	77
Gambar 4.14 Kinerja ANN dengan 3 Neuron pada <i>Hidden Layer</i>	77
Gambar 4.15 Plot Regresi Antara Nilai Target dengan Nilai Prediksi untuk 3 Neuron pada <i>Hidden Layer</i>	78
Gambar 4.16 Nilai Bobot Akhir dari <i>Input Layer</i> Ke <i>Hidden Layer</i>	78
Gambar 4.17 Nilai Bias Akhir dari <i>Input Layer</i> Ke <i>Hidden Layer</i>	79
Gambar 4.18 Nilai Bobot Akhir dari <i>Hidden Layer</i> Ke <i>Output Layer</i>	79
Gambar 4.19 Nilai Bias Akhir dari <i>Hidden Layer</i> Ke <i>Output Layer</i>	79
Gambar 4.20 <i>Output</i> dari Data Pengujian	82
Gambar 4.21 Contoh Desain Pasangan Talud Sungai Nangkluk Kec. Gubug Tahun 2025 (DPUPR Kabupaten Grobogan, 2025)	85

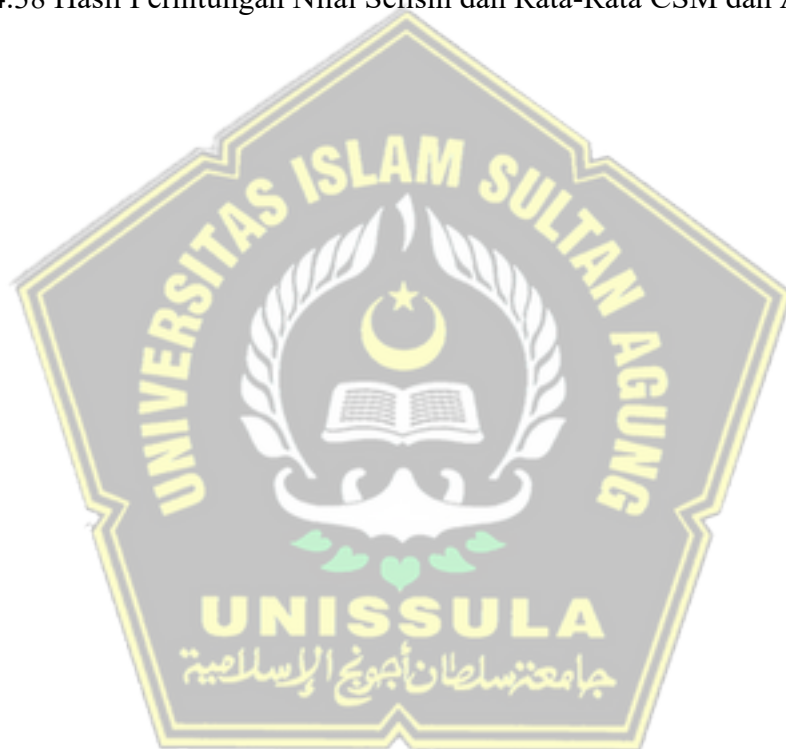
Gambar 4.22 <i>Output</i> dari Item Pekerjaan yang Telah Dinormalisasi	89
Gambar 4.23 Grafik <i>Scatter Plot</i> Hasil Perhitungan Metode Bland-Altman Plot	91



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	20
Tabel 4.1 Profil Pekerjaan.....	35
Tabel 4.2 Dokumentasi Talud Sungai.....	37
Tabel 4.3 Tabulasi Biaya Proyek Pembangunan Talud Sungai di Kabupaten Grobogan Tahun Anggaran 2023 sampai 2025	40
Tabel 4.4 Lanjutan Tabulasi Biaya Proyek Pembangunan Talud Sungai di Kabupaten Grobogan Tahun Anggaran 2023 sampai 2025	42
Tabel 4.5 Variabel Penelitian.....	44
Tabel 4.6 Nilai Inflasi Tahunan (<i>Year-On-Year</i>).....	44
Tabel 4.7 Data Hasil Survei dan Pengukuran	45
Tabel 4.8 Nilai Faktor Penyeragaman Biaya	48
Tabel 4.9 Tabulasi Data Pelatihan yang Diproyeksikan ke Tahun 2025	50
Tabel 4.10 Lanjutan Tabulasi Data Pelatihan Diproyeksikan ke Tahun 2025.....	52
Tabel 4.11 Tabulasi Data Pengujian	54
Tabel 4.12 Proporsi Komponen Biaya.....	55
Tabel 4.13 Variabel yang Digunakan dalam Metode CSM.....	57
Tabel 4.14 Hasil Uji Normalitas Metode Kolmogorov-Smirnov.....	58
Tabel 4.15 Hasil Uji Multikolinearitas.....	59
Tabel 4.16 Hasil Uji Heteroskedastisitas	60
Tabel 4.17 Hasil Uji Autokorelasi dengan Metode Durbin-Watson.....	60
Tabel 4.18 Nilai Durbin-Watson Tabel.....	61
Tabel 4.19 Hasil Metode Nonparametrik <i>Run Test</i>	61
Tabel 4.20 Hasil Analisis Regresi Linier	62
Tabel 4.21 <i>Model Summary</i>	63
Tabel 4.22 Uji F	64
Tabel 4.23 Variabel yang Digunakan dalam Pelatihan ANN	65
Tabel 4.24 Data <i>Input</i> ANN	68
Tabel 4.25 Lanjutan Data <i>Input</i> ANN.....	68
Tabel 4.26 Lanjutan Data <i>Input</i> ANN.....	69
Tabel 4.27 Hasil Pelatihan ANN.....	76
Tabel 4.28 Rangkuman Estimasi Biaya Total dengan CSM.....	81

Tabel 4.29 Data Pengujian yang Telah Dinormalisasi.....	82
Tabel 4.30 Rangkuman Estimasi Biaya Total dengan ANN.....	83
Tabel 4.31 Perhitungan Nilai MAPE	84
Tabel 4.32 Tipikal Dimensi Pasangan Talud	84
Tabel 4.33 Dimensi Rencana Pasangan Talud pada Lokasi Hasil Survei.....	85
Tabel 4.34 Dimensi Item Pekerjaan Untuk Lokasi Hasil Survei	87
Tabel 4.35 Rangkuman Hasil Perhitungan dengan CSM.....	88
Tabel 4.36 Nilai Item Pekerjaan yang Telah Dinormalisasi	88
Tabel 4.37 Rangkuman Hasil Perhitungan dengan ANN	90
Tabel 4.38 Hasil Perhitungan Nilai Selisih dan Rata-Rata CSM dan ANN	90



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kabupaten Grobogan merupakan salah satu wilayah di Provinsi Jawa Tengah yang memiliki tingkat kerentanan bencana cukup tinggi. Berdasarkan Peraturan Bupati Grobogan No. 48 Tahun 2022 Tentang Kajian Risiko Bencana Kabupaten Grobogan Tahun 2022–2027, nilai Indeks Risiko Bencana (IRB) secara keseluruhan mencapai 131,66. Dari sejumlah jenis bencana yang dinilai, bencana banjir memberikan kontribusi skor sebesar 17,33, yang tergolong dalam kelas risiko tinggi. Kondisi ini menuntut upaya mitigasi yang terencana, sistematis, dan berkelanjutan, salah satunya melalui pembangunan infrastruktur pengendali banjir.

Juliastuti et al. (2024) menjelaskan bahwa salah satu pendekatan praktis dalam pengendalian banjir adalah pembangunan talud di sepanjang aliran sungai yang berisiko tinggi mengalami banjir. Talud berfungsi untuk menahan tekanan air dan mencegah aliran banjir meluas ke area permukiman di sekitarnya. Berdasarkan SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik, talud didefinisikan sebagai dinding penahan tanah tipe gravitasi yang terbuat dari pasangan batu kali atau beton. Stabilitas dari struktur ini bergantung pada berat dinding itu sendiri serta massa tanah yang berada di atasnya.

Dalam tahap awal perencanaan pembangunan talud, diperlukan metode estimasi biaya yang cepat, efisien, dan akurat. Menurut Jin & Surya (2024) beberapa permasalahan yang muncul dalam melakukan estimasi adalah kurangnya informasi awal yang memadai, minimnya data historis dari proyek-proyek serupa yang telah dilaksanakan sebelumnya, serta kurangnya pengetahuan mengenai metode pendekatan estimasi biaya yang terbaru. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan inovatif untuk estimasi biaya.

Berdasarkan informasi dari tim teknis lapangan Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (DPUPR) Kabupaten Grobogan, estimasi awal kebutuhan biaya pekerjaan talud umumnya dilakukan dengan cara mengamati langsung kondisi di lapangan dan memperkirakan secara visual. Metode ini biasanya digunakan untuk mempercepat proses penyusunan estimasi, terutama ketika diperlukan pelaporan

segera kepada pimpinan. Dalam praktiknya, estimasi disusun berdasarkan asumsi panjang pekerjaan dengan perkiraan kebutuhan dana yang bersifat kasar. Meskipun pendekatan ini cukup membantu untuk memperoleh gambaran awal, tingkat presisinya terbatas karena belum didasarkan pada perhitungan rinci seperti metode *bottom-up* yang membutuhkan waktu lebih lama. Kondisi ini mencerminkan perlunya suatu metode estimasi biaya yang lebih sistematis, objektif, dan mampu memberikan hasil yang cepat namun tetap akurat sebagai acuan awal dalam proses perencanaan.

Dua pendekatan yang akan digunakan dalam estimasi biaya konstruksi adalah *Cost Significant Model* (CSM) dan *Artificial Neural Networks* (ANN). Johari & Almuhsy (2024) menjelaskan bahwa *Cost Significant Model* merupakan metode estimasi biaya yang mengidentifikasi komponen biaya paling signifikan dalam suatu proyek menggunakan analisis regresi linier berganda. Metode ini relatif sederhana dan mudah diterapkan karena hanya mempertimbangkan variabel-variabel dominan yang mempengaruhi biaya total. Sedangkan *Artificial Neural Networks* adalah metode komputasi yang terdiri dari sejumlah unit pemrosesan yang saling terhubung. Jaringan ini dibangun dari berbagai sel, node, atau neuron yang menghubungkan himpunan *input* dengan *output*. Konsep ini terinspirasi oleh cara otak manusia menganalisis dan memproses informasi (Dastres & Soori, 2021), menjadikannya metode yang fleksibel dan berpotensi lebih akurat dibandingkan pendekatan konvensional.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan membandingkan tingkat akurasi serta konsistensi hasil estimasi biaya konstruksi talud sungai menggunakan dua pendekatan, yaitu CSM dan ANN. Analisis dilakukan pada tahap perencanaan awal sebagai dasar pengambilan keputusan teknis dan pengelolaan anggaran. Hingga saat ini, belum ditemukan kajian yang secara khusus membandingkan kedua metode tersebut pada proyek talud sungai di wilayah rawan bencana seperti Kabupaten Grobogan, sehingga membentuk celah penelitian yang relevan untuk diisi.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang yang telah disampaikan, permasalahan yang akan diangkat dalam penelitian ini adalah:

1. Apa saja komponen biaya signifikan yang paling memengaruhi total biaya konstruksi talud sungai di Kabupaten Grobogan?
2. Bagaimana bentuk estimasi yang dihasilkan menggunakan CSM dan ANN pada pekerjaan konstruksi talud sungai di Kabupaten Grobogan?
3. Metode mana yang memberikan hasil estimasi biaya yang lebih akurat dan konsisten antara CSM dan ANN dalam mengestimasi pekerjaan konstruksi talud sungai di Kabupaten Grobogan?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengidentifikasi komponen-komponen biaya yang paling signifikan dalam memengaruhi total biaya konstruksi talud sungai di Kabupaten Grobogan.
2. Mengembangkan dan menganalisis bentuk estimasi biaya konstruksi talud sungai di Kabupaten Grobogan dengan menggunakan metode CSM dan ANN.
3. Membandingkan tingkat akurasi dan konsistensi hasil estimasi biaya antara metode CSM dan ANN untuk menentukan pendekatan terbaik dalam perencanaan awal proyek talud sungai.

1.4 Batasan Masalah

Untuk memastikan penelitian ini tetap terfokus dan terarah, ruang lingkup studi akan dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Penelitian ini berfokus pada proyek pembangunan talud sungai di Kabupaten Grobogan, tanpa terbatas pada satu segmen atau nama sungai tertentu. Data penelitian diperoleh dari paket pekerjaan pembangunan talud yang telah diselesaikan pada periode 2023 hingga 2025 dan juga observasi lapangan pada lokasi-lokasi sungai yang secara teknis berpotensi dilakukan pembangunan talud.

2. Metode estimasi biaya yang diterapkan dalam penelitian ini dibatasi pada dua pendekatan, yaitu *Cost Significant Model* dan *Artificial Neural Networks* algoritma *Backpropagation*.
3. Evaluasi kinerja kedua metode estimasi dilakukan dengan menggunakan indikator *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) untuk mengukur tingkat akurasi, serta *Bland-Altman Plot* untuk menilai konsistensi dan bias antara kedua model estimasi.

1.5 Keaslian Penelitian

Meskipun metode CSM dan ANN telah banyak digunakan dalam studi estimasi biaya proyek konstruksi, hingga saat ini belum ditemukan penelitian yang secara spesifik membandingkan kedua metode tersebut dalam konteks pembangunan talud sungai sebagai infrastruktur pengendali banjir, khususnya di wilayah dengan tingkat risiko bencana yang tinggi seperti Kabupaten Grobogan. Penelitian ini memiliki kebaruan dalam hal objek kajian, pendekatan komparatif antar metode estimasi, serta pemanfaatan data primer melalui observasi langsung pada lokasi usulan penanganan yang belum terealisasi, yang jarang dijadikan dasar dalam penelitian terdahulu.

Beberapa studi yang relevan dengan topik ini antara lain: Tahapari et al. (2021), yang membandingkan CSM dan ANN pada proyek peningkatan jalan aspal di Yogyakarta, dan mengevaluasi hasilnya menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE); Johari & Almuhsy (2024), yang menerapkan CSM untuk estimasi biaya proyek peningkatan jalan di Garut dengan fokus pada identifikasi item pekerjaan paling signifikan; Jin & Surya (2024), yang menggunakan ANN untuk memodelkan estimasi biaya proyek pembangunan gedung sekolah di Jakarta dalam kondisi informasi terbatas; serta Kartikasari (2025), yang membandingkan metode estimasi parametrik dan *bottom-up* pada proyek gedung di Blitar. Meskipun masing-masing penelitian tersebut menggunakan pendekatan estimasi biaya yang serupa, tidak satu pun secara langsung membahas penerapan metode tersebut pada pembangunan talud sungai maupun melakukan perbandingan keduanya dalam satu kerangka analisis seperti yang dilakukan dalam penelitian ini.

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat nyata baik dalam tataran praktis maupun akademis antara lain sebagai berikut:

1. Bagi Pemerintah Daerah dan Instansi Teknis

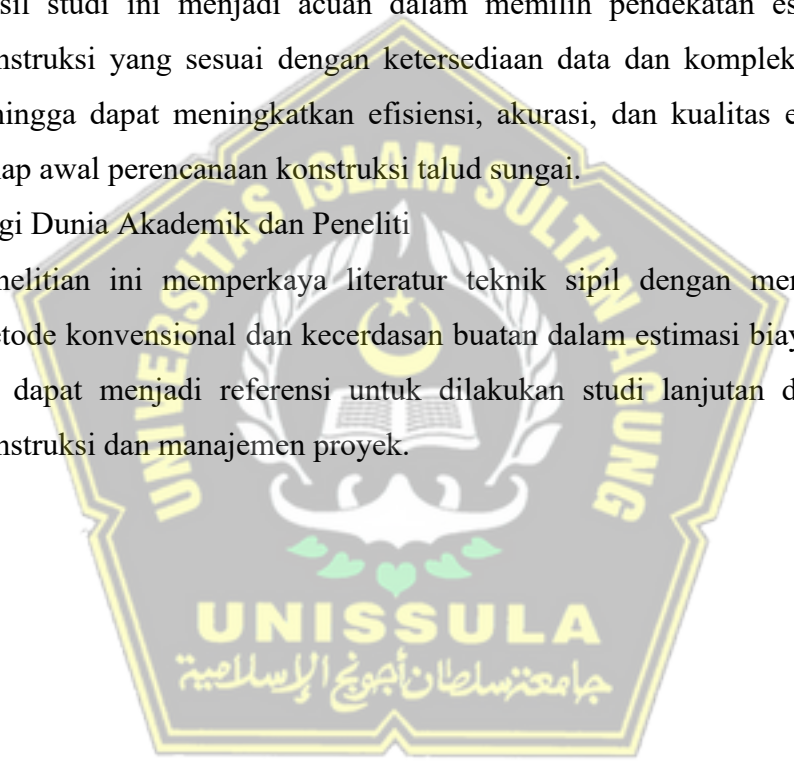
Penelitian ini membantu pemerintah daerah dalam memilih metode estimasi biaya yang lebih tepat dan efisien untuk perencanaan infrastruktur pengendalian banjir, sehingga mendukung pengelolaan anggaran yang akurat dan perumusan kebijakan mitigasi bencana berbasis data.

2. Bagi Perencana Proyek Konstruksi

Hasil studi ini menjadi acuan dalam memilih pendekatan estimasi biaya konstruksi yang sesuai dengan ketersediaan data dan kompleksitas proyek, sehingga dapat meningkatkan efisiensi, akurasi, dan kualitas estimasi pada tahap awal perencanaan konstruksi talud sungai.

3. Bagi Dunia Akademik dan Peneliti

Penelitian ini memperkaya literatur teknik sipil dengan membandingkan metode konvensional dan kecerdasan buatan dalam estimasi biaya. Penelitian ini dapat menjadi referensi untuk dilakukan studi lanjutan dalam bidang konstruksi dan manajemen proyek.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Estimasi Biaya Konstruksi

Estimasi merupakan proses penentuan perkiraan biaya pelaksanaan suatu pekerjaan berdasarkan informasi desain yang tersedia, meskipun informasi tersebut sering kali belum bersifat final atau lengkap (Holm & Schaufelberger, 2021). Proses estimasi melibatkan berbagai variabel yang saling berinteraksi secara kompleks terhadap biaya target. Estimasi dapat dilakukan melalui pendekatan kualitatif maupun kuantitatif. Namun, pendekatan kualitatif yang mengandalkan opini pakar cenderung subjektif, sementara pendekatan kuantitatif dinilai lebih objektif dan menghasilkan estimasi yang lebih akurat (Saeidlou & Ghadiminia, 2024).

Estimasi biaya memainkan peran penting dalam manajemen proyek konstruksi, mempengaruhi berbagai aspek perencanaan dan pelaksanaan proyek secara keseluruhan. Menurut Mahyuddin et al., (2024), berikut adalah beberapa poin mengenai peran estimasi biaya:

1. Merencanakan anggaran yang tepat
Estimasi biaya membantu pemilik proyek merencanakan anggaran secara rinci, memastikan alokasi dana yang sesuai dengan kebutuhan proyek.
2. Mengelola anggaran yang efisien
Dengan estimasi yang akurat, pengelola proyek dapat memonitor pengeluaran dan menjaga agar biaya tetap dalam batas anggaran yang ditetapkan.
3. Meminimalkan risiko keuangan
Estimasi biaya memungkinkan identifikasi risiko keuangan, membantu pemilik proyek mengantisipasi dan mengurangi potensi biaya tambahan.
4. Mengambil keputusan yang terinformasi
Estimasi biaya menyediakan informasi yang diperlukan untuk pengambilan keputusan strategis terkait sumber daya dan metode konstruksi.
5. Meningkatkan transparansi dan akuntabilitas
Estimasi biaya yang jelas meningkatkan transparansi penggunaan dana, memungkinkan pemangku kepentingan untuk mempertanggungjawabkan pengeluaran proyek.

Estimasi biaya konstruksi secara umum diklasifikasikan ke dalam dua pendekatan utama, yakni metode tradisional dan metode modern, yang masing-masing memiliki karakteristik dan implikasi berbeda dalam praktik perencanaan proyek (Reddy Anireddy, 2024). Adapun klasifikasinya adalah sebagai berikut:

1. Metode Tradisional

- Estimasi Analog
Menggunakan data historis dari proyek sejenis sebagai dasar perbandingan dalam memperkirakan biaya.
- Estimasi Parametrik
Berdasarkan hubungan matematis antara parameter proyek, seperti luas atau volume, dan total biaya.
- Estimasi Rinci (*Bottom-Up*)
Menguraikan seluruh komponen pekerjaan secara detail berdasarkan volume dan unit harga.

Metode ini bergantung pada pengalaman dan data masa lalu, dengan tingkat akurasi yang bervariasi tergantung pada kompleksitas proyek.

2. Metode Modern

- *Building Information Modeling* (BIM)
Mengintegrasikan model digital dengan data biaya dan waktu untuk menghasilkan estimasi yang lebih presisi.
- *Artificial Intelligence* (AI)
Menggunakan algoritma untuk menganalisis data historis dan memprediksi biaya secara otomatis.
- Perangkat Lunak Berbasis *Cloud*
Memfasilitasi estimasi berbasis data yang terintegrasi dan kolaboratif secara *real-time*.

Meskipun metode modern lebih efisien dan akurat, penerapannya memerlukan investasi awal serta kompetensi teknologi yang memadai. Dalam konteks ini, CSM dapat dianggap sebagai metode tradisional yang menggunakan estimasi parametrik, sedangkan ANN termasuk dalam kategori metode modern berbasis *Artificial Intelligence*.

2.2 Cost Significant Model

2.2.1 Definisi CSM

Cost Significant Model adalah salah satu model yang digunakan untuk memperkirakan total biaya konstruksi. Estimasi ini didasarkan pada data penawaran yang terdahulu dengan menggunakan item harga yang paling signifikan dalam mempengaruhi total biaya proyek dengan menggunakan analisis statistik regresi linier berganda (Setiawan et al., 2023).

Metode ini diperkenalkan oleh Poh & Horner (1995) melalui analisis data yang diambil dari *Bill of Quantities* (BOQ) proyek pembangunan asrama mahasiswa di Nanyang Technological University, Singapura. Sejak saat itu, metode ini telah diadopsi oleh berbagai peneliti dalam konteks yang berbeda, termasuk proyek jalan yang diteliti oleh Johari & Almuhsy (2024), proyek gedung oleh Ilallah & Waskito (2020), proyek sekolah yang dianalisis oleh Hidayat et al. (2022), proyek jembatan yang diteliti oleh Aprianti et al. (2021), proyek saluran drainase oleh Paikun & Andrian (2021), serta proyek turap beton yang diteliti oleh Setiawan et al. (2023).

2.2.2 Prinsip Dasar CSM

Cost Significant Model memiliki konsep bahwa tidak seluruh komponen pekerjaan memberikan kontribusi yang sama terhadap total biaya proyek; hanya beberapa item tertentu yang secara konsisten menyumbang sekitar 80% dari total biaya (Poh & Horner, 1995), sesuai dengan konsep pareto. Oleh karena itu, hanya item-item yang signifikan tersebut yang digunakan dalam membangun model estimasi.

Dalam penerapannya, metode ini menggunakan analisis regresi sebagai alat untuk mengidentifikasi dan menggambarkan arah hubungan antara variabel-variabel yang terlibat, serta untuk tujuan prediksi. Analisis regresi digunakan untuk mengkaji hubungan antara dua atau lebih variabel, khususnya ketika pola hubungan antarvariabel belum sepenuhnya diketahui (Aprianti et al., 2021).

2.2.3 Langkah-Langkah Penerapan CSM

1. Pengumpulan dan klasifikasi data biaya

Langkah awal dengan mengumpulkan data biaya historis dari proyek-proyek sejenis yang telah selesai berupa Rencana Anggaran Biaya (RAB). Selanjutnya, item pekerjaan diklasifikasikan berdasarkan jenis dan fungsi konstruksinya.

2. Menghitung nilai *Time Value of Money*

Harga pekerjaan pada saat tahun pelaksanaan disesuaikan dengan harga tahun yang diproyeksikan dengan mempertimbangkan faktor inflasi agar menjadi seragam (Tahapari et al., 2021).

3. Identifikasi *Cost Significant Items* (CSI)

Penentuan CSI dilakukan dengan mengurutkan variabel-variabel biaya pekerjaan dari nilai tertinggi hingga terendah. Item yang dikategorikan signifikan merupakan komponen biaya dengan kontribusi terbesar, yang secara kumulatif menyumbang minimal 80% dari total biaya keseluruhan (Ilallah & Waskito, 2020).

Namun, perlu dicatat bahwa tidak semua item dengan nilai biaya tinggi secara otomatis dikategorikan sebagai CSI. Item tersebut harus memiliki keberadaan yang konsisten pada proyek-proyek sejenis. Apabila suatu item hanya muncul karena kondisi khusus atau permintaan spesifik dari pemilik pekerjaan, maka item tersebut perlu dikeluarkan dari analisis karena dapat menghambat proses generalisasi dan menurunkan tingkat akurasi model estimasi (Poh & Horner, 1995).

4. Penerapan regresi linear berganda

Setelah komponen biaya signifikan diidentifikasi, tahap berikutnya adalah menyusun model estimasi biaya dengan menggunakan regresi linier. Model ini secara matematis merepresentasikan hubungan antara variabel dependen Y (total biaya proyek) dan satu atau lebih variabel independen X (volume item pekerjaan signifikan) (Johari & Almuhsy, 2024).

Persamaan regresi linear berganda secara umum dinyatakan sebagai berikut:

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \dots\dots\dots(2-1)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

- $\hat{Y}$ = estimasi total biaya proyek
- $X_1, X_2, \dots, X_n$ = dimensi pekerjaan untuk item signifikan
- β_0 = konstanta (intersep)
- $\beta_1, \dots, \beta_n$ = koefisien regresi (pengaruh tiap item terhadap biaya)
- ε = *error* atau galat model

2.2.4 Kelebihan dan Keterbatasan CSM

Sebagai salah satu bentuk estimasi parametrik, secara umum CSM memiliki keunggulan dalam memberikan hasil yang akurat pada proyek konstruksi sejenis yang berulang atau komponen yang telah terstandarisasi. Sebagai contoh, jika data historis konstruksi bangunan menunjukkan bahwa biaya tipikal untuk sebuah bangunan tertentu adalah sekian per meter persegi, maka estimasi ini dapat diterapkan dengan cepat berdasarkan dimensi pekerjaan yang ada. Namun metode ini sangat bergantung pada kualitas dan kuantitas database historis yang digunakan, semakin banyak data yang tersedia, semakin tinggi tingkat akurasi. Sebaliknya, akurasi akan menurun apabila sebuah proyek memiliki variabilitas yang tinggi (Reddy Anireddy, 2024).

2.3 Artificial Neural Networks

2.3.1 Pengertian ANN

Artificial Neural Networks atau yang disebut juga Jaringan Saraf Tiruan (JST), merupakan bagian dari *Artificial Intelligence* yang meniru sistem saraf biologis manusia (Ighneiwa et al., 2017). Metode ini bekerja dengan membangun sejumlah unit pemrosesan yang saling terhubung melalui koneksi yang menyerupai jaringan saraf. Jaringan ini terdiri atas sejumlah sel, simpul (node), unit, atau neuron yang saling terhubung melalui bobot yang berfungsi menghubungkan himpunan masukan dengan keluaran (Dastres & Soori, 2021). Algoritma ANN mampu beradaptasi terhadap lingkungan dalam menghasilkan respons, serta sangat andal

dalam mengolah data nonlinier dan menghasilkan keluaran maupun prediksi dengan tingkat akurasi yang tinggi (Ahmad et al., 2022).

2.3.2 Struktur dan Komponen ANN

Menurut Walczak & Cerpa (2019), ANN secara umum terdiri atas tiga jenis lapisan utama yang tersusun secara berurutan, yaitu lapisan masukan (*input layer*), lapisan tersembunyi (*hidden layer*), dan lapisan keluaran (*output layer*). Masing-masing lapisan memiliki fungsi spesifik dalam proses pemrosesan informasi, sebagaimana dijelaskan berikut ini:

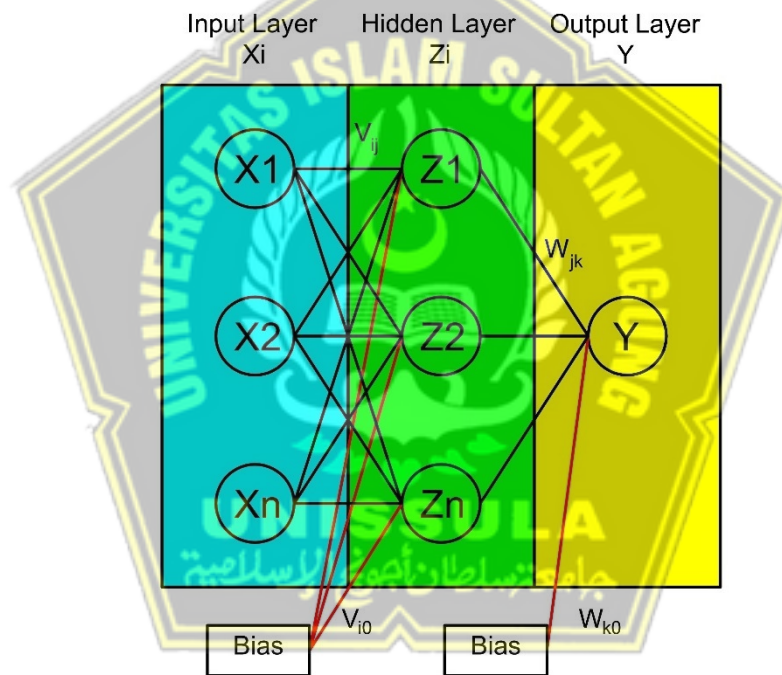
1. Lapisan Masukan (*Input Layer*)
Berfungsi menerima data awal, di mana setiap neuron merepresentasikan satu variabel *input* dari *dataset*.
2. Lapisan Tersembunyi (*Hidden Layer*)
Melakukan pemrosesan terhadap data melalui fungsi aktivasi, dan dapat terdiri dari satu atau lebih lapisan tergantung pada kompleksitas masalah.
3. Lapisan Keluaran (*Output Layer*)
Menghasilkan respons akhir jaringan yang sesuai dengan tujuan model, seperti klasifikasi atau prediksi nilai kontinu.

Secara keseluruhan, struktur berlapis ini memungkinkan ANN memproses data secara bertahap dari *input* mentah hingga menghasilkan *output* yang relevan dan dapat digunakan dalam pengambilan keputusan. Adapun elemen-elemen utama dalam jaringan ANN menurut Tahapari et al. (2021) adalah sebagai berikut:

1. Neuron pada *Input Layer* (X_i)
Merupakan unit-unit saraf yang menerima data dari luar dan meneruskannya ke *hidden layer*.
2. Neuron pada *Hidden Layer* (Z_j)
Lapisan tersembunyi yang memproses sinyal dari *input layer* dan meneruskannya ke *output layer*.
3. Neuron pada *Output Layer* (Y_k)
Unit akhir yang menghasilkan keluaran jaringan berdasarkan hasil pemrosesan dari *hidden layer*.

4. Bobot antar lapisan (V_{ij} dan W_{jk})
 - V_{ij} adalah bobot yang menghubungkan neuron X_i di *input layer* dengan neuron Z_j di *hidden layer*.
 - W_{jk} adalah bobot yang menghubungkan neuron Z_j di *hidden layer* dengan neuron Y_k di *output layer*.
5. Bobot bias (V_{i0} dan W_{k0})
 - V_{i0} adalah bobot bias yang menuju neuron pada *hidden layer*.
 - W_{k0} adalah bobot bias yang menghubungkan *hidden layer* dengan *output layer*.

Adapun Arsitektur Algoritma ANN digambarkan sebagaimana Gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Arsitektur Algoritma ANN (Tahapari et al., 2021; Windarto et al., 2020)

Fungsi aktivasi diperlukan dalam transformasi data untuk menambahkan unsur non-linearitas, sehingga memungkinkan ANN mempelajari dan merepresentasikan hubungan kompleks antar variabel secara lebih efektif. Salah satu fungsi aktivasi yang umum digunakan adalah fungsi Sigmoid, yang memiliki rentang keluaran antara 0 dan 1. Fungsi ini dinyatakan dalam persamaan:

$$f(x) = 1/(1 + e^{(-x)}) \dots\dots\dots (2.2)$$

2.3.3 Proses Pembelajaran dengan Algoritma *Backpropagation*

Algoritma *backpropagation* adalah metode pembelajaran terarah yang digunakan untuk melatih jaringan saraf tiruan dengan menyesuaikan bobot dan bias berdasarkan kesalahan *output*. Proses dimulai dengan propagasi maju untuk menghasilkan *output*, lalu kesalahan dihitung dengan membandingkannya terhadap nilai target. Kesalahan ini dikembalikan ke belakang melalui aturan turunan berantai untuk mengetahui kontribusi setiap parameter. Selanjutnya, bobot dan bias diperbarui secara bertahap mengikuti arah penurunan kesalahan, sehingga jaringan dapat belajar menghasilkan *output* yang semakin mendekati nilai yang diharapkan. (Li, 2024).

Proses *backpropagation* terdiri atas tiga tahap utama sebagai berikut:

1. Propagasi Maju

Setiap unit masukan (X_i) menerima sinyal *input* dan meneruskannya ke *hidden layer*. Pada *hidden layer*, setiap unit (Z_j) menghitung jumlah bobot dari sinyal *input* yang diterimanya, kemudian meneruskan sinyal tersebut ke *output layer* untuk menghasilkan prediksi.

2. Propagasi Balik

Setiap unit keluaran (Y_k) menerima data dari pola pelatihan yang diberikan, kemudian menghitung nilai galat (*error*). Selanjutnya, dilakukan perhitungan koreksi terhadap bobot dan bias. Masing-masing unit pada *hidden layer* (Z_j) menjumlahkan delta (δ) dari lapisan di atasnya untuk menyesuaikan bobot secara bertahap.

3. Perubahan Bobot

Setelah seluruh faktor delta (δ) dihitung, bobot pada setiap koneksi dalam jaringan dimodifikasi secara simultan. Perubahan bobot suatu koneksi ditentukan oleh nilai faktor δ dari neuron pada lapisan berikutnya. Sebagai contoh, perubahan bobot pada koneksi yang menuju *output layer* ditentukan berdasarkan faktor δ yang dihasilkan oleh unit pada lapisan keluaran tersebut.

Ketiga fase diulang hingga terpenuhi kondisi penghentian, yang umumnya ditentukan oleh batas maksimum iterasi atau tingkat galat. Proses dihentikan jika iterasi melebihi batas atau galat berada di bawah ambang toleransi.

2.3.4 Variabel *Input* dan *Output* dalam ANN

Dalam penerapan ANN untuk estimasi biaya konstruksi talud sungai, pemilihan variabel *input* memegang peranan penting dalam menentukan kinerja model secara keseluruhan. Variabel-variabel *input* yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari data teknis proyek yang tercantum dalam dokumen Rencana Anggaran Biaya (RAB). Adapun variabel yang dimasukkan ke dalam jaringan mencakup volume pekerjaan seperti galian tanah, pasangan batu, plesteran, dan item pekerjaan relevan lainnya. Selain variabel teknis tersebut, nilai total biaya pekerjaan juga digunakan sebagai salah satu parameter *input* dalam proses pelatihan jaringan.

Seluruh variabel *input* dinormalisasi ke dalam rentang skala 0-1 guna menjaga kestabilan proses pelatihan serta menghindari dominasi skala nilai pada variabel tertentu. Proses pelatihan jaringan dilakukan menggunakan algoritma *backpropagation* dengan fungsi aktivasi *sigmoid* untuk mengakomodasi hubungan nonlinier antarvariabel. *Output* dari jaringan ANN berupa estimasi total biaya konstruksi talud sungai. Kinerja model dievaluasi berdasarkan nilai *Mean Squared Error* (MSE); model dengan nilai galat terkecil dianggap sebagai representasi terbaik dalam melakukan estimasi.

2.3.5 Keunggulan dan Keterbatasan ANN

ANN memiliki sejumlah keunggulan dan kelemahan yang perlu diperhatikan dalam implementasinya. Sebagaimana dikemukakan oleh M. Mijwil (2021), keunggulan utama ANN antara lain:

1. Penyimpanan Informasi yang Terdistribusi

Informasi tidak tersimpan pada satu lokasi spesifik, melainkan tersebar di seluruh jaringan, sehingga sistem tetap dapat beroperasi meskipun sebagian data mengalami kehilangan atau kerusakan.

2. Kemampuan Menangani Informasi yang Tidak Lengkap

Setelah melalui proses pelatihan, jaringan tetap mampu menghasilkan *output* meskipun data *input* yang diberikan tidak lengkap.

3. Toleransi terhadap Kesalahan

Kerusakan pada satu atau beberapa neuron tidak menyebabkan kegagalan sistem secara keseluruhan, menjadikan ANN memiliki ketahanan yang tinggi terhadap gangguan.

4. Pembelajaran Berbasis Contoh

ANN membangun pemahaman berdasarkan data pelatihan yang diberikan. Oleh karena itu, kualitas dan representasi data sangat menentukan keberhasilan kinerja jaringan.

5. Kemampuan Pemrosesan Paralel

ANN memiliki kemampuan untuk menjalankan berbagai proses secara simultan, yang berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi dalam pengolahan data berskala besar.

Namun demikian, terdapat pula beberapa kelemahan ANN yang dapat menjadi kendala dalam penerapannya di berbagai konteks:

1. Ketergantungan pada Perangkat Keras dengan Kapasitas Tinggi

Implementasi ANN secara optimal memerlukan perangkat keras yang mendukung pemrosesan paralel, yang tidak selalu tersedia secara luas.

2. Kurangnya Transparansi dalam Proses Keputusan

Proses pengambilan keputusan sering kali tidak transparan, sehingga sulit dijelaskan bagaimana suatu output dihasilkan.

3. Ketidakpastian dalam Penetapan Arsitektur Jaringan

Tidak terdapat kaidah baku dalam merancang struktur jaringan, sehingga penentuan arsitektur memerlukan pendekatan eksperimental dan pengalaman teknis.

4. Kompleksitas dalam Representasi Masalah

Permasalahan yang hendak diselesaikan harus direpresentasikan dalam bentuk numerik sebelum dapat diproses oleh jaringan, yang dapat memengaruhi performa model secara keseluruhan.

5. Durasi Pelatihan yang Tidak Terprediksi

Proses pelatihan dihentikan berdasarkan nilai ambang galat tertentu, namun pencapaian ambang tersebut tidak selalu mencerminkan hasil yang optimal dalam implementasi nyata.

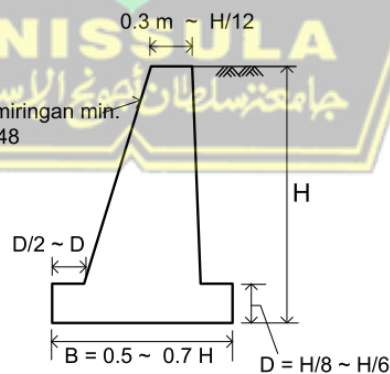
2.4 Talud Sungai Sebagai Infrastruktur Pengendali Banjir

Dinding penahan tanah dibangun untuk mencegah pergerakan tanah yang digunakan dalam berbagai pekerjaan rekayasa sipil seperti pengurugan, penggalian, pembangunan jembatan, serta pengendalian banjir (Pongsagorn et al., 2018). Salah satu bentuk struktur ini adalah talud, yang termasuk dalam kategori dinding penahan tanah tipe gravitasi.

Dalam konteks pengendalian banjir, perencanaan pembangunan talud sungai menjadi salah satu solusi infrastruktur yang dapat diimplementasikan secara efektif. Talud berfungsi sebagai penghalang untuk mengurangi limpasan air yang memasuki kawasan permukiman serta menjadi elemen penting dalam pengamanan sepanjang daerah aliran sungai (Item et al., 2024).

Menurut SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik, stabilitas struktur talud sangat dipengaruhi oleh berat sendiri konstruksi dan dukungan dari massa tanah di sekitarnya. Oleh karena itu, perencanaan teknis talud harus mempertimbangkan beberapa parameter utama, seperti tinggi muka air maksimum, daya dukung tanah dasar, kemiringan lereng, serta jenis material konstruksi yang digunakan, agar struktur mampu berfungsi optimal dalam menghadapi tekanan air dan beban eksternal lainnya.

Berikut adalah tipikal dimensi dinding penahan tanah tipe gravitasi yang dinyatakan sebagai fungsi dari tinggi tanah H sebagaimana Gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2 Dimensi Tipikal Dinding Penahan Tanah Tipe Gravitasi (SNI 8460:2017)

Setiap talud terdiri atas sejumlah elemen utama yang saling mendukung untuk menjamin stabilitas dan fungsi struktur. Adapun elemen-elemen tersebut adalah sebagai berikut:

1. Fondasi

Berfungsi sebagai dasar yang menopang seluruh beban struktur talud. Fondasi harus diletakkan pada lapisan tanah yang stabil dan memiliki daya dukung yang memadai untuk menjamin kestabilan keseluruhan sistem.

2. Badan Talud

Merupakan bagian utama dari struktur yang menahan tekanan lateral dari tanah dan air. Kemiringan badan talud dirancang dan disesuaikan dengan kondisi geoteknik dan topografi lokasi.

3. Lapisan Pelindung Permukaan

Digunakan untuk melindungi permukaan talud dari erosi yang disebabkan oleh aliran air langsung, sehingga memperpanjang umur teknis struktur.

4. Saluran Drainase *Weep Holes*

Berfungsi untuk mengurangi tekanan air pori di belakang struktur talud serta menjaga kestabilan jangka panjang dengan memfasilitasi aliran air keluar dari massa tanah.

2.5 Evaluasi Kinerja Model Estimasi

Evaluasi kinerja metode estimasi merupakan tahap penting dalam menilai tingkat keandalan suatu metode dalam menghasilkan prediksi yang mendekati nilai aktual serta konsistensinya dalam berbagai kondisi data. Pada penelitian ini, evaluasi kinerja dilakukan melalui dua pendekatan utama, yaitu pengukuran tingkat akurasi menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dan penilaian konsistensi melalui *Bland-Altman plot*.

2.5.1 *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE)

MAPE dihitung dengan membagi galat absolut pada setiap periode dengan nilai observasi yang sesuai untuk periode tersebut, kemudian merata-ratakan seluruh persentase tersebut. Pendekatan ini berguna ketika besaran atau skala variabel prediksi memiliki peran penting dalam mengevaluasi tingkat akurasi prediksi. MAPE menunjukkan seberapa besar kesalahan dalam prediksi dibandingkan dengan nilai sebenarnya (Khair et al., 2017). Adapun rumus MAPE adalah sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

- y_i = nilai aktual pada observasi ke-i,
- $\hat{y}_i$ = nilai estimasi pada observasi ke-i, dan
- n = jumlah total observasi.

2.5.2 Bland-Altman Plot

Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Altman & Bland (1999) dalam konteks pengukuran tekanan darah sistolik menggunakan dua perangkat berbeda, yaitu alat manual dan otomatis, dengan menerapkan *Limits of Agreement* (LoA) sebesar 95%. Bland-Altman Plot, yang juga dikenal sebagai plot perbedaan, merupakan alat grafis yang efektif untuk membandingkan dua teknik pengukuran serta mengevaluasi tingkat kesepakatan antara dua himpunan data. Plot ini menyajikan representasi visual dari selisih antara dua pengukuran pada sumbu-y dan rata-rata dari kedua pengukuran pada sumbu-x. Pada dasarnya, Bland-Altman Plot merupakan *scatter plot* yang memetakan perbedaan antara dua pengukuran terhadap nilai rata-ratanya. Dengan demikian, plot ini memfasilitasi visualisasi tingkat kesesuaian antara dua pengamat sekaligus mengidentifikasi kemungkinan adanya bias sistematis (DATAtab Team, 2025).

Langkah-langkah analisis dengan Bland-Altman meliputi:

- Menghitung selisih antar estimasi
 $d_i = \hat{y}_{1i} - \hat{y}_{2i} \dots \dots \dots (2.4)$

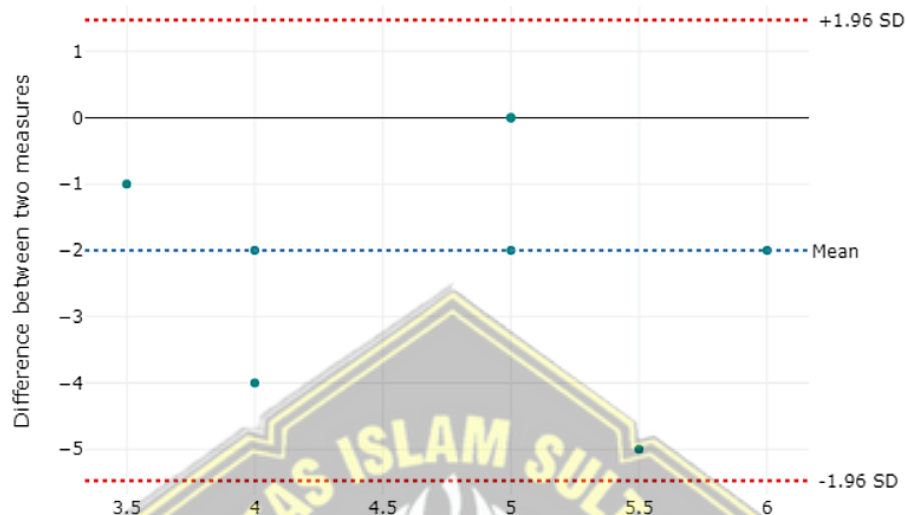
- Menghitung rata-rata estimasi
 $m_i = \frac{\hat{y}_{1i} + \hat{y}_{2i}}{2} \dots \dots \dots (2.5)$

- Menghitung nilai rata-rata perbedaan
 $\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \dots \dots \dots (2.6)$

- Menghitung simpangan baku dari perbedaan
 $SD_d = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2} \dots \dots \dots (2.7)$

- Menghitung batas kesepakatan (*limits of agreement*) sebagai:
 $LoA = \bar{d} \pm 1,96 \times SD_d \dots \dots \dots (2.8)$

Hasil perhitungan kemudian divisualisasikan dalam bentuk *scatter plot* untuk menilai apakah titik-titik berada dalam batas kesepakatan dan bebas dari pola bias. Titik di luar batas dapat mengindikasikan adanya gejala heteroskedastisitas dalam data. Adapun bentuk *scatter plot* sebagaimana pada Gambar 2.3 berikut:



Gambar 2.3 Bentuk *Scatter Plot* Bland-Altman (DATAtab Team, 2025)

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang membahas tentang estimasi biaya konstruksi yang dijadikan referensi pada penelitian ini sebagaimana diuraikan pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No.	Judul dan Penulis	Tujuan	Metode	Hasil
1.	Model Estimasi Biaya dengan <i>Cost Significant Model</i> dan <i>Artificial Neural Network</i> Proyek Peningkatan Jalan Aspal di Yogyakarta (Tahapari et al., 2021)	Membandingkan akurasi model estimasi biaya proyek peningkatan jalan dengan menggunakan dua pendekatan, yaitu <i>Cost Significant Model</i> (CSM) dan <i>Artificial Neural Network</i> (ANN).	Metodologi yang digunakan melibatkan pengembangan dua model ANN (ANN-1 dan ANN-2) dengan arsitektur jaringan berbeda serta satu model CSM yang dibangun dengan regresi linear berganda.	Berdasarkan analisis terhadap 28 data proyek peningkatan jalan aspal di Yogyakarta, diperoleh bahwa model ANN-2 (arsitektur jaringan 10-15-1) memiliki tingkat akurasi tertinggi dengan nilai <i>Mean Absolute Percentage Error</i> (MAPE) sebesar 8,132%, dibandingkan ANN-1 (12,687%) dan CSM (14,757%).
2.	Penerapan Metode <i>Cost Significant Model</i> pada Estimasi Biaya Pembangunan Peningkatan Jalan (Johari & Almuhsy, 2024)	Mengidentifikasi komponen biaya yang paling signifikan dalam proyek pembangunan jalan kabupaten serta menilai efektivitas penerapan metode CSM dalam pengelolaan biaya proyek.	Pendekatan penelitian menggunakan metode regresi linear berganda untuk mengembangkan model estimasi biaya berdasarkan data proyek pembangunan jalan di Kabupaten Garut.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa model CSM yang dikembangkan menghasilkan koefisien determinasi sebesar 0,943. Komponen biaya pekerjaan divisi perkerasan aspal (X4) dan divisi struktur (X5) teridentifikasi sebagai variabel signifikan yang mempengaruhi total biaya proyek, sehingga dapat dijadikan fokus dalam pengendalian risiko biaya.

No.	Judul dan Penulis	Tujuan	Metode	Hasil
3.	Estimasi Konseptual Biaya Pembangunan Drainase Di Wilayah Kota Sukabumi Menggunakan Model (Paikun & Andrian, 2021)	Menghasilkan model estimasi biaya awal pembangunan saluran drainase di Kota Sukabumi menggunakan pendekatan <i>Cost Significant Model</i> (CSM).	Metode penelitian menggunakan regresi linier berganda, dengan variabel bebas utama berupa item pekerjaan pasangan batu dan pekerjaan siaran, berdasarkan data proyek drainase terbuka.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa model CSM mampu memberikan estimasi biaya dengan tingkat akurasi sebesar 97% dan rata-rata kesalahan sebesar 3,17%. Model ini dinilai efektif untuk digunakan pada jenis drainase terbuka berplester.
4.	Estimasi Biaya Rehabilitasi Berat pada Bangunan Sekolah Menggunakan Metode <i>Cost Significant Model</i> (Hidayat et al., 2022)	Mengembangkan model estimasi biaya rehabilitasi berat bangunan sekolah dengan menggunakan metode <i>Cost Significant Model</i> .	Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan analisis regresi linier terhadap data proyek rehabilitasi sekolah di wilayah Sukabumi yang diperoleh dari LPSE dan kontraktor.	Model estimasi yang dihasilkan adalah: $Y = 164.276.541 + 2,739X_4 + 6,43X_7$, dengan X_4 dan X_7 masing-masing mewakili pekerjaan kusen dan pekerjaan plafon. Model memiliki tingkat akurasi dalam kisaran -9,99% hingga 6,807%, dan sesuai dengan klasifikasi akurasi AACE kelas 1.
5.	<i>The Analysis of Cost Estimation using Cost Significant Model on Bridge Construction in South Sulawesi</i> (Aprianti et al., 2021)	Menentukan model estimasi biaya konstruksi jembatan rangka baja menggunakan <i>Cost Significant Model</i> serta mengukur akurasinya terhadap biaya proyek aktual.	Menggunakan data sekunder RAB proyek jembatan di Sulawesi Selatan dan analisis regresi linier berganda dengan metode <i>backward elimination</i> berbasis SPSS.	Model regresi yang terbentuk adalah: $Y = 3,884(X_7) + 0,989(X_8) - 65515,372$, dengan tingkat akurasi estimasi antara -1,46% hingga +2,45%, serta koefisien determinasi 99,7% dan <i>Cost Model Factor</i> sebesar 1,038.

No.	Judul dan Penulis	Tujuan	Metode	Hasil
6.	Estimasi Biaya Struktur Gedung Rumah Sakit dengan Bentuk Persegi Panjang Menggunakan Metode <i>Artificial Neural Network</i> (Dewanti et al., 2021)	Mengembangkan model estimasi biaya struktur gedung rumah sakit berbentuk persegi panjang menggunakan metode <i>Artificial Neural Network</i> (ANN).	Model dibangun berdasarkan 60 variasi data dengan variabel utama seperti luas lantai, jumlah lantai, tinggi kolom, kelas situs, serta dimensi balok dan kolom.	Hasilnya menunjukkan bahwa variabel yang paling sensitif terhadap estimasi biaya adalah dimensi balok dan kolom. Model ANN memberikan tingkat kesalahan $\pm 1,55\%$ pada data pembelajaran dan $\pm 9,75\%$ pada data pengujian acak.
7.	Pemodelan Estimasi Biaya Konseptual Proyek Gedung Sekolah dengan Menggunakan <i>Artificial Neural Network</i> (Jin & Surya, 2024)	Membangun model estimasi biaya konseptual pembangunan gedung sekolah dengan menggunakan <i>Artificial Neural Network</i> (ANN).	Model dikembangkan berdasarkan 15 data proyek gedung sekolah di Jakarta, dengan pemilihan variabel <i>input</i> melalui analisis faktor dan pemodelan dilakukan menggunakan <i>software</i> Matlab.	Arsitektur jaringan terbaik yang dihasilkan adalah 7-5-1 dengan algoritma <i>backpropagation</i> , yang mampu memberikan estimasi biaya awal secara akurat meskipun keterbatasan informasi proyek.
8.	Estimasi Biaya Konseptual Konstruksi Gudang (Satrio & Andreas, 2021)	Mengembangkan model estimasi biaya konseptual pembangunan gudang menggunakan metode <i>Artificial Neural Network</i> .	Model dibangun berdasarkan sepuluh variabel seperti lokasi proyek, tipe pondasi, luas bangunan, bentuk bangunan, tipe atap, dan durasi proyek.	Model ANN yang dihasilkan memberikan tingkat kesalahan sebesar 22%, dan dinyatakan masih sesuai dengan klasifikasi akurasi estimasi konseptual menurut AACE.

No.	Judul dan Penulis	Tujuan	Metode	Hasil
9.	Studi Kasus Perbandingan Estimasi Biaya dengan Analisis Parametrik dan <i>Bottom-Up</i> pada Pembangunan Gedung (Kartikasari, 2025)	Membandingkan hasil estimasi biaya pembangunan gedung antara metode parametrik dan metode <i>bottom-up</i> .	Metodologi menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif pada proyek pembangunan Gedung Kelurahan Blitar, dengan estimasi biaya dari dua pendekatan tersebut dibandingkan secara langsung.	Hasil menunjukkan bahwa metode <i>bottom-up</i> memberikan estimasi biaya yang lebih rinci dan akurat (Rp 4,2 miliar) dibandingkan metode parametrik (Rp 6,47 miliar), yang lebih cocok digunakan pada tahap awal perencanaan.
10.	Evaluasi Estimasi Biaya Tahap Konseptual pada Proyek Pasar Ikan Modern (PIM) Muara Baru dengan Metode Parametrik (Subagijo et al., 2025)	Mengevaluasi estimasi biaya tahap konseptual proyek Pasar Ikan Modern Muara Baru dengan menggunakan metode parametrik.	Data dianalisis menggunakan <i>Relative Importance Index</i> (RII) dan regresi linear berganda untuk mengidentifikasi parameter yang paling mempengaruhi akurasi estimasi.	Hasil menunjukkan bahwa estimasi biaya menjadi tidak akurat bila luas bangunan lebih kecil atau sama dengan 400 m ² . Metode parametrik dinilai efisien namun bergantung pada kecocokan parameter fisik proyek.
11.	Penerapan <i>Building Information Modelling</i> (BIM) Untuk Estimasi Biaya Pekerjaan Struktur Bangunan Rumah Tinggal 1 Lantai di Daerah Halim Jakarta Timur (Amin et al., 2025)	Mengevaluasi efektivitas penggunaan teknologi BIM, khususnya Revit 2022, dalam memberikan estimasi biaya struktur bangunan yang lebih akurat dan efisien.	Metode yang digunakan adalah studi kasus kuantitatif pada proyek rumah satu lantai di Halim, menggunakan data sekunder dan analisis pemodelan 3D biaya dengan <i>software</i> Revit 2022..	Hasil menunjukkan bahwa estimasi biaya dengan Revit 2022 lebih hemat 5,94% dibanding metode konvensional, serta meningkatkan efisiensi revisi desain, akurasi volume, dan pengurangan material berlebih.

Berdasarkan hasil tinjauan penelitian terdahulu, maka penelitian yang diajukan memiliki kontribusi dalam bidang estimasi biaya konstruksi, terutama dalam konteks pembangunan talud sungai di Kabupaten Grobogan, sebuah daerah dengan tingkat kerentanan bencana yang tinggi. Salah satu kebaruan dari penelitian ini adalah pemilihan objek studi yang sangat spesifik, yaitu talud sungai sebagai infrastruktur pengendali banjir, yang belum banyak diteliti dalam konteks estimasi biaya konstruksi. Penelitian sebelumnya lebih banyak berfokus pada estimasi biaya untuk proyek bangunan gedung, seperti sekolah, rumah sakit, dan gedung lainnya, serta infrastruktur transportasi seperti jalan, jembatan, dan sistem drainase, sementara infrastruktur pelindung seperti talud belum mendapat perhatian yang sama.

Penelitian ini juga mengisi celah dalam literatur yang ada. Sebagian besar penelitian terdahulu hanya menggunakan satu pendekatan estimasi biaya, baik itu CSM maupun ANN, tanpa melakukan perbandingan langsung antara kedua metode tersebut dalam proyek yang sama. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki kebaruan metodologis dengan membandingkan akurasi dan konsistensi estimasi biaya menggunakan dua metode tersebut, yakni CSM yang berbasis regresi linier berganda dan ANN yang berbasis pembelajaran mesin.

Selain itu, celah lainnya juga ada pada metode evaluasi konsistensi dan keandalan model estimasi biaya. Penelitian sebelumnya lebih berfokus pada akurasi, namun tidak banyak yang menilai konsistensi antara kedua model estimasi yang digunakan. Penggunaan *Bland-Altman Plot* dalam penelitian ini untuk mengevaluasi bias dan konsistensi hasil estimasi adalah kontribusi yang jarang ditemukan dalam studi teknik sipil, menjadikannya sebagai nilai tambah yang memperkaya metodologi evaluasi estimasi biaya.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Bentuk Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif komparatif yang bertujuan untuk membandingkan dua metode estimasi biaya konstruksi, yaitu CSM dan ANN, dalam konteks proyek pembangunan talud sungai. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan evaluasi terhadap perbedaan akurasi dan konsistensi hasil estimasi dari kedua metode secara terukur dan objektif.

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas dua jenis, yaitu data sekunder dan data primer. Data sekunder diperoleh dari dokumen RAB proyek pembangunan talud sungai yang telah dilaksanakan pada tahun-tahun sebelumnya. Sementara itu, data primer dikumpulkan melalui observasi langsung di lapangan pada lokasi sungai yang masuk dalam daftar usulan penanganan dan belum terealisasi, dengan tujuan memperoleh informasi aktual mengenai dimensi pekerjaan sebagai dasar validasi hasil estimasi.

Pengambilan sampel dilakukan dengan metode *mixed purposive-convenience sampling*, yaitu kombinasi antara pemilihan data berdasarkan kemudahan akses (*convenience*) dan kesesuaian dengan kriteria penelitian (*purposive*). Unsur *purposive* ada pada pemilihan proyek yang relevan, yakni proyek pembangunan talud sungai di Kabupaten Grobogan, sedangkan unsur *convenience* dari penggunaan data yang tersedia dan dapat diakses secara langsung. Metode ini termasuk dalam kategori *non-probability sampling*, yang menurut Etikan et al. (2016), tidak memiliki rumus statistik baku dalam menentukan jumlah sampel secara ideal karena tidak melibatkan pemilihan secara acak. Oleh karena itu, jumlah sampel dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan kelayakan dan ketersediaan data yang memenuhi syarat untuk dianalisis secara metodologis.

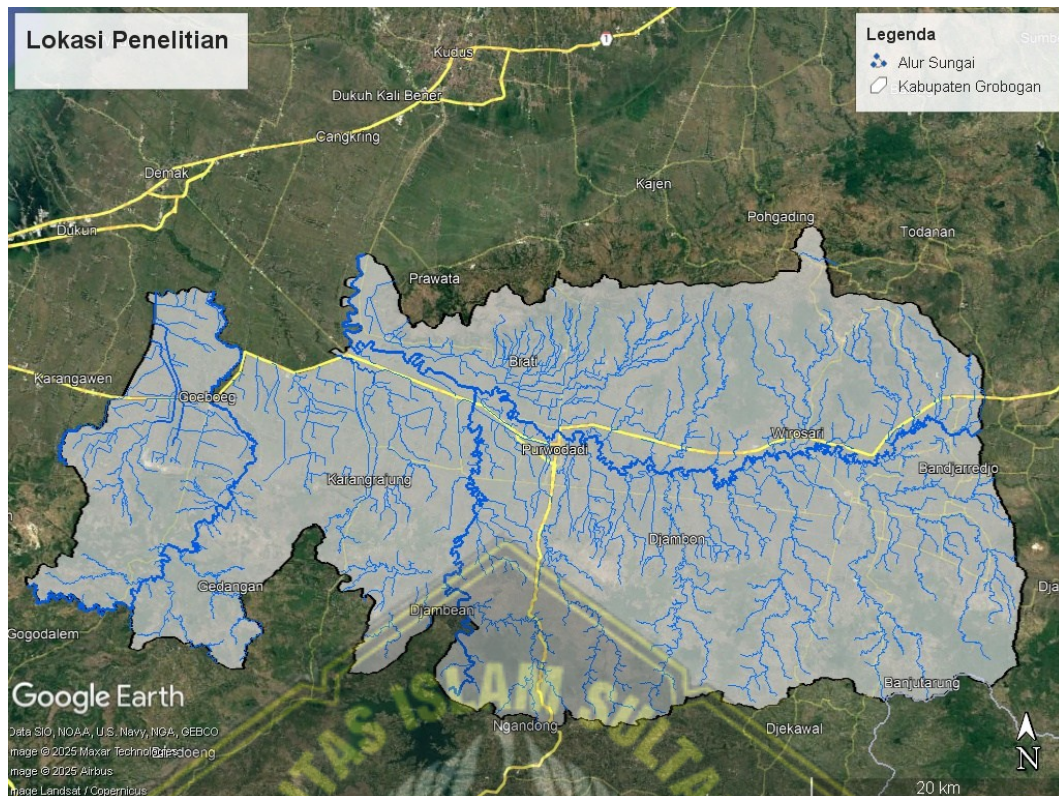
Dalam praktiknya, penelitian terdahulu yang sejenis juga menggunakan pendekatan serupa. Tahapari et al. (2021) menggunakan 31 sampel RAB, dengan pembagian 28 data untuk pelatihan dan 3 data untuk pengujian model. Johari & Almuhsy (2024) menggunakan 10 sampel, sementara Dewanti et al. (2021) menggunakan 8 sampel, dan Paikun & Andrian (2021) menggunakan 14 sampel

RAB sebagai dasar analisis estimasi. Hal ini menunjukkan bahwa dalam konteks penelitian serupa, penggunaan jumlah sampel yang terbatas tetap dapat menghasilkan analisis yang bermanfaat selama metodologi disusun dengan cermat dan data yang digunakan memenuhi kualitas yang memadai.

Adapun dalam konteks perencanaan ukuran sampel, pendekatan yang digunakan tetap mempertimbangkan prinsip-prinsip statistik yang relevan. Kwak & Kim (2017) menyatakan bahwa berdasarkan *Central Limit Theorem*, distribusi rata-rata sampel akan mendekati distribusi normal standar apabila ukuran sampel mencapai sekitar 30, sehingga memungkinkan penerapan uji statistik parametrik. Namun, untuk pendekatan eksploratif seperti penggunaan *Bland-Altman Plot* dalam penelitian ini—yang relatif masih baru dalam disiplin teknik sipil—pendekatan *pilot study* tetap relevan. Tseng & Sim (2020) menyebutkan bahwa ukuran sampel antara 5 hingga 12 sudah cukup untuk memperoleh gambaran awal variasi dan bias pengukuran antar metode, sehingga hasilnya dapat dijadikan dasar untuk evaluasi metodologis awal yang valid.

3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Kabupaten Grobogan, Provinsi Jawa Tengah, dengan fokus pada proyek pembangunan talud sungai sebagai upaya pengendalian banjir di wilayah rawan bencana. Penelitian mencakup berbagai sungai tanpa dibatasi pada satu nama atau segmen tertentu, bergantung pada ketersediaan data teknis yang dapat dianalisis. Pemilihan lokasi didasarkan pada dokumen RAB dari proyek yang telah diselesaikan serta lokasi usulan penanganan talud yang belum terealisasi, sehingga cakupan lokasi bersifat terbuka dan disesuaikan dengan kebutuhan data yang representatif.



Gambar 3.1 Lokasi Riset di Kabupaten Grobogan

3.3 Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data sekunder dan data primer. Kedua jenis data tersebut saling melengkapi dalam mendukung proses analisis estimasi biaya.

3.3.1 Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari sumber yang telah tersedia dan digunakan untuk menyusun dasar model estimasi serta melakukan penyesuaian terhadap nilai biaya. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Dokumen RAB

Data penelitian diperoleh dari DPUPR Kabupaten Grobogan dalam bentuk dokumen RAB proyek pembangunan talud sungai yang telah diselesaikan. Dokumen RAB tersebut memuat informasi teknis meliputi volume pekerjaan, harga satuan setiap item pekerjaan, serta total biaya proyek. Dari keseluruhan data yang tersedia, sebanyak 42 paket pekerjaan dipilih sebagai sampel penelitian. Sampel tersebut terdiri atas 18 paket pekerjaan tahun 2023, 14 paket pekerjaan tahun 2024, dan 10 paket pekerjaan tahun 2025. Pemilihan sampel

didasarkan pada kriteria ketersediaan data yang lengkap, relevan, serta dapat diakses secara langsung.

2. Data inflasi

Data inflasi diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) dan digunakan untuk menyesuaikan nilai biaya pada masing-masing dokumen RAB ke dalam harga konstan tahun proyeksi penelitian, yaitu tahun 2025. Penyesuaian dilakukan berdasarkan tahun penyusunan RAB. Sebagai contoh, dokumen yang disusun pada tahun 2023 atau 2024 akan disesuaikan ke harga tahun 2025 agar seluruh data memiliki kesetaraan nilai dalam proses estimasi dan perbandingan.

3.3.2 Data Primer

Data primer diperoleh melalui observasi langsung di lapangan dengan melakukan pengukuran dimensi kebutuhan pekerjaan pada sejumlah lokasi sungai di Kabupaten Grobogan. Data utama yang dikumpulkan meliputi panjang rencana talud dan tinggi talud, yang selanjutnya dijadikan dasar untuk menentukan tipikal desain serta estimasi kebutuhan item pekerjaan. Asumsi desain dan komponen pekerjaan tersebut disesuaikan dengan praktik umum yang lazim diterapkan oleh DPUPR Kabupaten Grobogan. Lokasi observasi dipilih berdasarkan usulan pembangunan talud yang belum terealisasi, baik yang diajukan oleh pemerintah desa maupun hasil identifikasi tim teknis DPUPR. Data primer ini merepresentasikan kondisi aktual di lapangan dan digunakan sebagai bahan validasi terhadap hasil estimasi yang diperoleh dari model penelitian.

3.4 Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan dua jenis variabel, yaitu variabel bebas (independen) dan variabel terikat (dependen), yang digunakan untuk membangun dan menguji model estimasi biaya pembangunan talud sungai.

- Variabel bebas dalam penelitian ini merepresentasikan komponen pekerjaan yang memengaruhi total biaya konstruksi. Variabel tersebut berupa dimensi dari item pekerjaan, meliputi: pembersihan dan *striping* (X1), pemasangan profil melintang (X2), mobilisasi alat (X3), papan nama kegiatan (X4), K3 (X5), galian tanah (X6), timbunan kembali (X7), pasangan batu (X8), plesteran

(X9), acian (X10), pipa suling-suling (X11), serta dokumentasi dan *as-built drawing* (X12).

- Variabel terikat (Y) adalah estimasi biaya total konstruksi talud sungai berdasarkan kombinasi variabel bebas di atas. Biaya ini memiliki satuan nilai rupiah (Rp) dan menjadi *output* dari model estimasi.

3.5 Teknik Pengolahan Data

Teknik pengolahan data mencakup penyiapan dan analisis data sekunder dan primer untuk membentuk model estimasi biaya, dengan dukungan perangkat lunak komputasi yang disesuaikan dengan masing-masing metode analisis.

3.5.1 Pengolahan Data Sekunder

Pengolahan data sekunder dilakukan terhadap RAB proyek talud sungai di Kabupaten Grobogan, mencakup volume dan harga item pekerjaan seperti galian tanah, urugan, dan pasangan batu serta total biaya. Harga satuan dan biaya total setiap paket dihitung dan disesuaikan dengan tingkat inflasi tahunan berdasarkan data BPS, agar seluruh nilai biaya dikonversi ke harga konstan tahun berjalan untuk menjaga kesetaraan komparatif.

3.5.2 Pengolahan Data untuk Metode CSM

Data yang telah disesuaikan kemudian diolah menggunakan perangkat lunak SPSS untuk membangun model estimasi dengan pendekatan CSM. Sebelum dilakukan regresi linear berganda, dilakukan beberapa uji asumsi statistik, meliputi:

1. Uji normalitas

Untuk memastikan bahwa residual dari model berdistribusi normal. Metode yang digunakan adalah Uji Kolmogorov-Smirnov dengan rumus sebagai berikut:

$$D = \max |F_0(X_i) - S_n(X_i)| \dots \dots \dots (3.1)$$

Dengan keterangan:

$F_0(X_i)$ = fungsi distribusi kumulatif teoretis,

$S_n(X_i)$ = fungsi distribusi kumulatif empiris sampel,

D = nilai maksimum selisih absolut antara kedua distribusi.

Apabila nilai signifikansi $> 0,05$ maka data residual berdistribusi normal; sebaliknya jika $< 0,05$ maka data tidak normal.

2. Uji multikolinearitas

Untuk memeriksa hubungan antar variabel bebas yang saling memengaruhi. Indikator pengujian dilihat dari nilai *Tolerance* (TOL) dan *Variance Inflation Factor* (VIF):

$$TOL = 1 - R_i^2 \dots\dots\dots (3.2)$$

$$VIF = \frac{1}{1-R_i^2} \dots\dots\dots (3.3)$$

Dengan keterangan:

R_i^2 = koefisien determinasi hasil regresi antara variabel bebas ke-i terhadap variabel bebas lainnya.

Jika $VIF < 10$ dan $TOL > 0,1$, maka tidak terjadi multikolinearitas.

3. Uji autokorelasi

Untuk mengetahui apakah terdapat pola residual yang berulang. Metode yang digunakan adalah Uji Glejser, dengan persamaan:

$$|e_i| = \alpha + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_n X_{ni} + \mu_i \dots\dots\dots (3.4)$$

Dengan keterangan:

$|e_i|$ = nilai absolut residual,

$X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{ni}$ = variabel independen,

α, β = parameter regresi,

μ_i = error.

Jika nilai signifikansi (Sig.) $> 0,05$ maka tidak terjadi heteroskedastisitas.

4. Uji heteroskedastisitas

Untuk menguji konsistensi varians residual dalam model. Metode yang digunakan adalah Uji Durbin-Watson, dengan rumus:

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2} \dots\dots\dots (3.5)$$

Dengan keterangan:

e_t = residual pada periode ke-t.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, data yang memenuhi kriteria statistik yang akan digunakan sebagai dasar dalam pembentukan model regresi linier.

Dengan demikian, model yang dihasilkan memiliki tingkat keandalan yang dapat dipertanggungjawabkan dalam memprediksi estimasi biaya konstruksi talud sungai.

3.5.3 Pengolahan Data untuk Metode ANN

Data yang digunakan untuk metode ANN terlebih dahulu dilakukan normalisasi, agar setiap variabel memiliki skala nilai yang sebanding, sehingga proses pelatihan jaringan menjadi stabil. Normalisasi dilakukan dengan skala 0-1 menggunakan metode pengubahan nilai minimum dan maksimum. Pengolahan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak MATLAB, yang digunakan untuk membangun arsitektur jaringan, melatih model dengan algoritma *backpropagation*, serta mengukur performa model berdasarkan nilai *Mean Squared Error* (MSE).

3.5.4 Pengolahan Data Primer untuk Validasi

Data primer yang diperoleh melalui observasi lapangan berupa dimensi kebutuhan pekerjaan talud digunakan sebagai data validasi eksternal. Data ini tidak dimasukkan ke dalam proses pelatihan model, tetapi digunakan untuk mengukur bias hasil estimasi dari masing-masing metode. Validasi dilakukan dengan cara membandingkan hasil estimasi masing-masing model dan dianalisis menggunakan pendekatan evaluasi *Bland-Altman Plot*.

3.6 Metode Analisis Data

Metode analisis data disesuaikan dengan pendekatan masing-masing. Kedua metode terlebih dahulu dianalisis secara terpisah untuk membentuk model estimasi, kemudian hasilnya dibandingkan berdasarkan tingkat akurasi dan konsistensi.

3.6.1 Analisis dengan CSM

Analisis dengan metode CSM diawali dengan proses identifikasi item pekerjaan yang paling signifikan (*Cost Significant Items*), yaitu komponen pekerjaan yang memberikan kontribusi terbesar terhadap total biaya konstruksi sebagaimana tercantum dalam dokumen RAB. Item-item signifikan tersebut digunakan sebagai variabel bebas dalam model regresi linier berganda, dengan total biaya konstruksi sebagai variabel terikat. Sebelum model dirumuskan, dilakukan

serangkaian uji asumsi klasik, meliputi uji normalitas, multikolinearitas, autokorelasi, dan heteroskedastisitas, guna memastikan bahwa data memenuhi syarat untuk analisis regresi dan menghasilkan model yang valid secara statistik.

Setelah model dirumuskan, dilakukan pengujian kelayakan model dan kontribusi variabel melalui uji F dan uji t parsial, dengan penjelasan sebagai berikut:

- Uji F (analisis varian/ANOVA):

Digunakan untuk menilai signifikansi model secara simultan, yaitu untuk mengetahui apakah seluruh variabel bebas secara bersama-sama memiliki pengaruh terhadap variabel terikat. Rumus uji F adalah:

$$F = \frac{R^2/k}{(1-R^2)/(n-k-1)} \dots\dots\dots (3.6)$$

Dengan keterangan:

R^2 = koefisien determinasi,

k = jumlah variabel independen,

n = jumlah sampel.

Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai F hitung terhadap F tabel pada tingkat signifikansi tertentu.

- Uji t parsial:

Digunakan untuk menilai signifikansi kontribusi masing-masing variabel bebas secara individual terhadap variabel terikat. Rumus uji t parsial adalah:

$$t = \frac{b_i}{S_{b_i}} \dots\dots\dots (3.7)$$

Dengan keterangan:

b_i = koefisien regresi variabel ke-i,

S_{b_i} = standar error dari koefisien regresi.

Hasil uji ini diperoleh dengan membandingkan nilai t hitung dengan t tabel, yang menunjukkan apakah suatu variabel bebas berperan signifikan dalam membentuk model estimasi.

Apabila model regresi linier berganda yang dibentuk lolos uji F dan uji t dengan tingkat signifikansi yang memenuhi kriteria ($\alpha = 0,05$), maka model tersebut dinyatakan valid secara statistik. Dengan demikian, model tersebut dapat digunakan sebagai representasi dari pendekatan CSM dalam penelitian ini, dan dijadikan dasar untuk proses estimasi biaya konstruksi talud sungai secara komparatif.

3.6.2 Analisis dengan ANN

Analisis menggunakan metode ANN dilakukan dengan tahapan normalisasi data, perancangan arsitektur jaringan, pelatihan model, dan evaluasi kinerja. Seluruh variabel *input*, baik volume pekerjaan maupun total biaya, dinormalisasi dalam skala 0-1 untuk menjaga stabilitas pelatihan. Arsitektur jaringan yang digunakan terdiri atas tiga lapisan utama: *input layer*, *hidden layer*, dan *output layer*, dengan konfigurasi jumlah neuron yang ditentukan secara eksperimental. Pelatihan jaringan dilakukan dengan algoritma *backpropagation* menggunakan fungsi aktivasi *sigmoid*, dan parameter seperti *epoch* yang disesuaikan untuk mencapai performa terbaik.

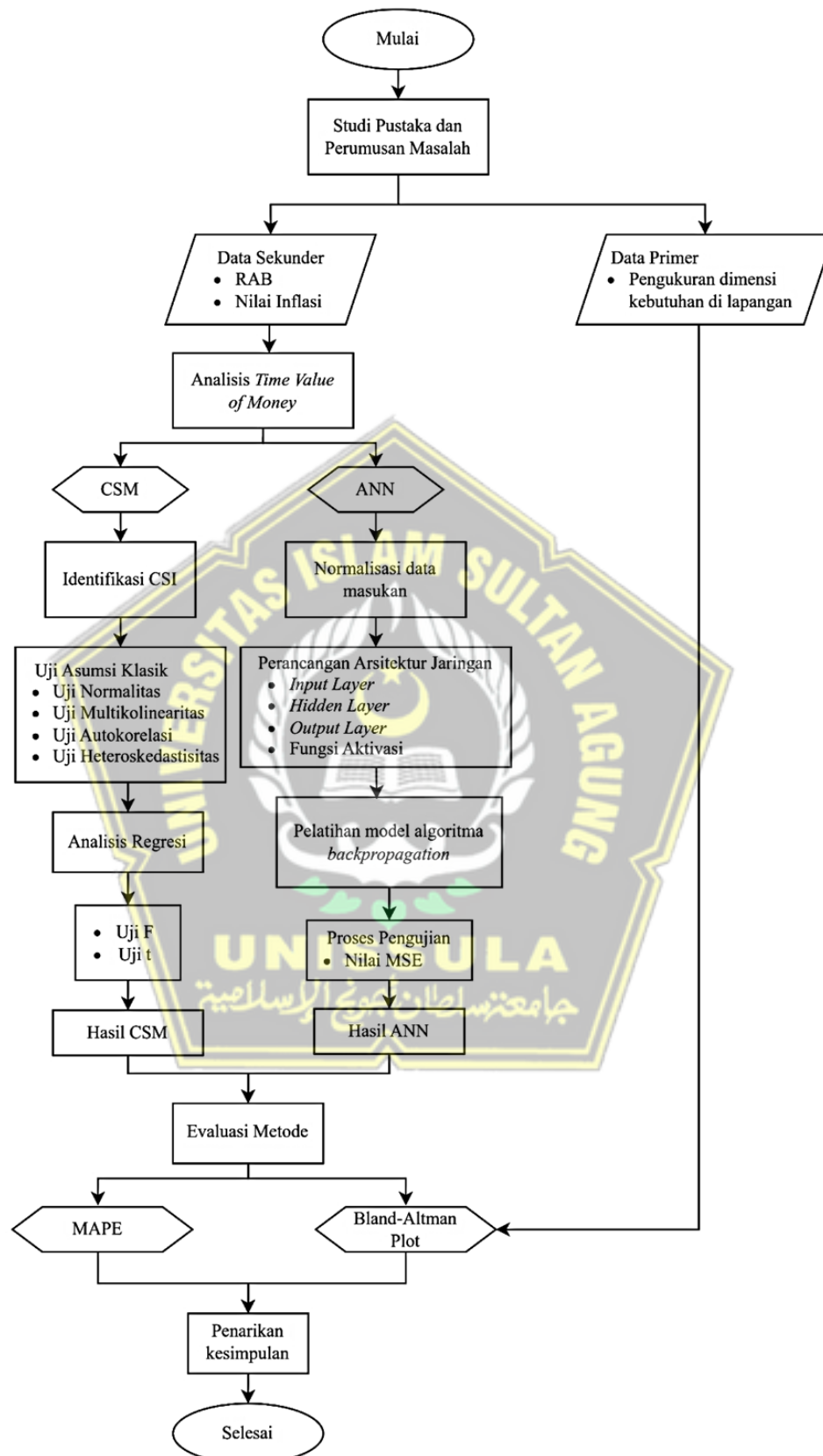
Bentuk nyata dari pengujian model dilakukan dengan membagi data ke dalam dua subset, yaitu data pelatihan dan data pengujian. Model dilatih pada data pelatihan untuk menemukan bobot optimal, kemudian diuji pada data pengujian untuk mengevaluasi kemampuan generalisasi model. Hasil prediksi pada data pengujian dibandingkan dengan nilai aktual, lalu dievaluasi menggunakan metrik *Mean Squared Error* (MSE). Model dengan nilai MSE terkecil dianggap sebagai model ANN terbaik.

3.6.3 Perbandingan dan Evaluasi Metode

Setelah masing-masing model estimasi terbentuk, dilakukan analisis perbandingan terhadap kinerja keduanya. Evaluasi dilakukan melalui dua pendekatan utama:

- Analisis akurasi dilakukan dengan menghitung nilai MAPE terhadap data validasi, guna mengukur selisih rata-rata persentase antara hasil estimasi dan nilai aktual.
- Analisis konsistensi dan bias dilakukan menggunakan *Bland-Altman Plot*, yang bertujuan untuk menilai tingkat kesepakatan dan bias antara kedua metode estimasi.

3.7 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Data Proyek Studi

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas dua jenis, yaitu data sekunder dan data primer. Data sekunder diperoleh dari dokumen RAB yang diperoleh dari DPUPR Kabupaten Grobogan. Sementara itu, data primer diperoleh melalui hasil survei serta pengukuran langsung di lapangan pada lokasi yang diusulkan untuk pembangunan talud.

4.1.1 Data Profil Pekerjaan

Data RAB yang berhasil dihimpun mencakup 42 paket pekerjaan yang dilaksanakan pada periode tahun 2023 hingga tahun 2025. Informasi terkait lokasi pekerjaan, dimensi pekerjaan, serta tahun pelaksanaannya secara rinci disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Profil Pekerjaan

No.	Lokasi Pekerjaan	Panjang Talud (m)	Tahun Anggaran	Kode
1	Sungai Trisari Kec. Gubug	174,00	2023	Paket 1
2	Sungai Singorojo Kec. Brati	117,00	2023	Paket 2
3	Sungai Daresan Kec. Brati	90,00	2023	Paket 3
4	Sungai Arum Kec. Brati	74,50	2023	Paket 4
5	Sungai Ngrojo Kec. Godong	134,00	2023	Paket 5
6	Sungai Tlogo Kec. Gubug	102,00	2023	Paket 6
7	Sungai Pateh Kec. Wirosari	98,00	2023	Paket 7
8	Sungai Towang Kec. Tanggunharjo	142,00	2023	Paket 8
9	Sungai Sambeng Kec. Tegowanu	140,00	2023	Paket 9
10	Sungai Baturan Kec. Gubug	102,00	2023	Paket 10
11	Sungai Sendangsari Kec. Tanggunharjo	96,20	2023	Paket 11
12	Sungai Ngambilan Kec. Grobogan	110,00	2023	Paket 12
13	Sungai Tirem Kec. Brati	104,00	2023	Paket 13
14	Sungai Kaliwenang Kec. Tanggunharjo	130,00	2023	Paket 14
15	Sungai Dukoh Kec. Tanggunharjo	156,00	2023	Paket 15
16	Sungai Katekan Kec. Brati	96,00	2023	Paket 16

No.	Lokasi Pekerjaan	Panjang Talud (m)	Tahun Anggaran	Kode
17	Sungai Kapung Kec. Tanggunharjo	133,00	2023	Paket 17
18	Sungai Larik Ombo Kec. Tegowanu	208,00	2023	Paket 18
19	Sungai Ngamblek Kec. Tegowanu	137,00	2024	Paket 19
20	Sungai Mangunsari Kec. Tegowanu	146,00	2024	Paket 20
21	Sungai Kapung Kec. Tanggunharjo	118,00	2024	Paket 21
22	Sungai Krajan Barat Kec. Tanggunharjo	90,00	2024	Paket 22
23	Sungai Trisari Kec. Gubug	165,00	2024	Paket 23
24	Sungai Dorolegi Kec. Godong	118,00	2024	Paket 24
25	Sungai Tanjungsari Kec. Kradenan	97,00	2024	Paket 25
26	Sungai Mendikil Kec. Kradenan	91,50	2024	Paket 26
27	Sungai Towang Kec. Tanggunharjo	135,00	2024	Paket 27
28	Sungai Larik Ombo Kec. Tegowanu	143,00	2024	Paket 28
29	Sungai Baturan Kec. Gubug	115,00	2024	Paket 29
30	Sungai Jangkung Kec. Brati	85,00	2024	Paket 30
31	Sungai Tlogo Kec. Gubug	93,00	2024	Paket 31
32	Sungai Depok Kec. Tegowanu	106,00	2024	Paket 32
33	Sungai Nangkluk Kec. Gubug	122,60	2025	Paket 33
34	Sungai Pulongrambe Kec. Tawangharjo	102,00	2025	Paket 34
35	Sungai Jono Kec. Tawangharjo	117,00	2025	Paket 35
36	Sungai Towang Kec. Tanggunharjo	151,00	2025	Paket 36
37	Sungai Gotanjung Kec. Tegowanu	156,00	2025	Paket 37
38	Sungai Tanen Kec. Tawangharjo	102,00	2025	Paket 38
39	Sungai Papanrejo Kec. Gubug	163,00	2025	Paket 39
40	Sungai Kedungpring Kec. Tanggunharjo	93,00	2025	Paket 40
41	Sungai Sendangsari Kec. Tanggunharjo	159,00	2025	Paket 41
42	Sungai Margoyoso Kec. Tanggunharjo	82,00	2025	Paket 42

(DPUPR Kabupaten Grobogan, 2025)

Berikut disajikan beberapa dokumentasi pasangan talud sungai yang telah dilaksanakan pada periode tahun anggaran 2023 hingga 2025, sebagaimana tercantum pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Dokumentasi Talud Sungai

No	Dokumentasi	Lokasi	Tahun Anggaran
1		Sungai Towang Kec. Tanggungharjo	2023
2		Sungai Baturan Kec. Gubug	2023
3		Sungai Sendangsari Kec. Tanggungharjo	2023
4		Sungai Dukoh Kec. Tanggungharjo	2023
5		Sungai Katekan Kec. Brati	2023

No	Dokumentasi	Lokasi	Tahun Anggaran
6		Sungai Mangunsari Kec. Tegowanu	2024
7		Sungai Trisari Kec. Gubug	2024
8		Sungai Dorologi Kec. Godong	2024
9		Sungai Larik Ombo Kec. Tegowanu	2024
10		Sungai Tlogo Kec. Gubug	2024

No	Dokumentasi	Lokasi	Tahun Anggaran
11		Sungai Nangkluk Kec. Gubug	2025
12		Sungai Pulongrambe Kec. Tawangharjo	2025
13		Sungai Kedungpring Kec. Tanggunharjo	2025
14		Sungai Sendangsari Kec. Tanggunharjo	2025

(DPUPR Kabupaten Grobogan, 2025)

Rekapitulasi data yang memuat biaya total proyek untuk setiap paket pekerjaan, komponen-komponen biaya penyusun beserta dimensinya disajikan pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4. Seluruh biaya yang tercantum tidak mencakup Pajak Pertambahan Nilai (PPN).

Tabel 4.3 Tabulasi Biaya Proyek Pembangunan Talud Sungai di Kabupaten Grobogan Tahun Anggaran 2023 sampai 2025

No.	Kode	Tahun	Biaya Total (Rp)	Pembersihan & Striping		Pemasangan Profil Melintang		Mobilisasi Alat		Papan Nama Kegiatan		K3		Galian Tanah	
				Dim. (m ²)	Biaya (Rp)	Dim. (m)	Biaya (Rp)	Dim. (Ls)	Biaya (Rp)	Dim. (Ls)	Biaya (Rp)	Dim. (Ls)	Biaya (Rp)	Dim. (m ³)	Biaya (Rp)
1	Paket 1	2023	179.316.800,92	94,70	531.267,00	54,00	1.245.131,00	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	63,00	5.301.450,00
2	Paket 2	2023	177.748.587,93	74,88	420.076,80	24,96	575.527,68	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	74,88	6.301.152,00
3	Paket 3	2023	177.748.436,38	126,20	707.982,00	30,00	691.740,00	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	64,80	5.452.920,00
4	Paket 4	2023	177.748.427,20	134,70	755.667,00	40,00	922.320,00	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	67,05	5.642.257,50
5	Paket 5	2023	177.748.222,97	134,00	751.740,00	56,18	1.295.501,89	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	80,40	6.765.660,00
6	Paket 6	2023	176.333.895,68	54,00	302.940,00	54,00	1.245.132,00	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	69,12	4.366.172,16
7	Paket 7	2023	175.495.892,43	68,60	384.846,00	36,30	837.005,40	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	105,03	8.838.400,73
8	Paket 8	2023	175.045.214,96	142,00	796.620,00	142,00	3.274.236,00	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	64,96	4.103.393,28
9	Paket 9	2023	172.342.795,80	94,80	531.828,00	32,00	737.856,00	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	58,80	4.948.200,00
10	Paket 10	2023	171.601.173,04	100,90	566.049,00	46,00	1.060.668,00	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	65,28	5.493.312,00
11	Paket 11	2023	170.624.916,38	92,80	520.609,00	34,00	783.972,00	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	122,46	10.305.345,60
12	Paket 12	2023	168.739.253,57	10,00	56.100,00	10,00	230.580,00	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	87,08	5.500.569,63
13	Paket 13	2023	168.738.863,22	10,00	56.100,00	10,00	230.580,00	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	66,56	5.040.921,60
14	Paket 14	2023	167.858.673,51	174,90	981.189,00	18,72	431.645,76	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	75,08	6.317.561,25
15	Paket 15	2023	166.937.060,57	-	-	25,76	593.964,33	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	43,68	2.759.178,24
16	Paket 16	2023	162.651.283,26	104,35	585.403,50	40,00	922.320,00	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	61,44	5.170.176,00
17	Paket 17	2023	157.574.025,88	53,60	300.696,00	54,00	1.245.132,00	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	65,17	5.484.055,50
18	Paket 18	2023	133.061.670,40	208,00	1.166.880,00	208,00	4.796.064,00	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	101,92	6.438.082,56
19	Paket 19	2024	178.186.011,11	125,75	1.327.920,00	48,00	1.145.808,00	1,00	1.750.000,00	1,00	492.200,00	1,00	1.845.000,00	57,54	4.560.965,64
20	Paket 20	2024	175.478.528,34	102,50	1.082.400,00	23,36	557.626,56	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	85,41	6.770.109,06
21	Paket 21	2024	174.582.361,08	74,94	1.788.892,74	-	-	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	101,48	8.043.913,68
22	Paket 22	2024	173.685.585,59	54,00	570.240,00	69,46	1.658.100,99	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	102,60	8.132.691,60

No.	Kode	Tahun	Biaya Total (Rp)	Pembersihan & Striping		Pemasangan Profil Melintang		Mobilisasi Alat		Papan Nama Kegiatan		K3		Galian Tanah	
				Dim. (m ²)	Biaya (Rp)	Dim. (m)	Biaya (Rp)	Dim. (Ls)	Biaya (Rp)	Dim. (Ls)	Biaya (Rp)	Dim. (Ls)	Biaya (Rp)	Dim. (m ³)	Biaya (Rp)
23	Paket 23	2024	173.445.504,95	177,40	1.873.344,00	66,00	1.575.486,00	1,00	1.750.000,00	1,00	492.200,00	1,00	1.845.000,00	59,40	4.708.400,40
24	Paket 24	2024	173.317.782,82	118,00	1.246.080,00	118,00	2.913.538,00	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	75,52	3.699.800,32
25	Paket 25	2024	171.344.286,54	135,80	1.434.048,00	17,55	433.327,05	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	103,79	8.227.018,14
26	Paket 26	2024	171.292.579,44	128,10	1.352.736,00	17,55	433.327,05	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	95,75	7.590.096,01
27	Paket 27	2024	169.186.276,15	70,00	739.200,00	29,00	692.259,00	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	66,15	5.243.445,90
28	Paket 28	2024	162.606.385,43	95,18	1.005.100,80	33,61	802.184,96	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	79,72	6.319.283,69
29	Paket 29	2024	161.978.624,03	102,85	1.086.096,00	38,00	907.098,00	1,00	1.750.000,00	1,00	492.200,00	1,00	1.845.000,00	48,30	3.828.547,80
30	Paket 30	2024	160.926.741,20	42,50	448.800,00	20,40	503.696,40	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	85,00	4.164.235,00
31	Paket 31	2024	157.644.392,09	101,25	1.069.200,00	42,00	1.002.582,00	1,00	1.750.000,00	1,00	492.200,00	1,00	1.845.000,00	52,08	4.128.173,28
32	Paket 32	2024	139.443.469,02	104,08	1.099.084,80	24,91	594.626,61	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	74,20	5.881.537,20
33	Paket 33	2025	178.186.416,38	171,64	2.010.762,60	30,78	796.709,52	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	88,96	7.822.960,38
34	Paket 34	2025	178.185.953,70	102,00	1.194.930,00	51,00	1.320.084,00	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	110,78	9.741.328,52
35	Paket 35	2025	178.185.630,43	117,00	1.370.655,00	58,50	1.514.214,00	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	103,15	9.070.392,10
36	Paket 36	2025	178.185.629,16	156,60	1.834.569,00	72,00	1.799.928,00	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	63,42	5.576.774,28
37	Paket 37	2025	177.406.982,81	259,20	3.036.528,00	50,00	1.234.550,00	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	77,97	6.855.994,15
38	Paket 38	2025	174.908.732,97	154,08	1.805.047,20	48,00	1.242.432,00	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	85,17	7.489.338,78
39	Paket 39	2025	173.631.142,12	209,69	2.456.518,35	66,00	1.629.606,00	1,00	1.750.000,00	1,00	492.200,00	1,00	1.845.000,00	58,68	5.159.967,12
40	Paket 40	2025	173.530.343,63	93,00	1.089.495,00	36,30	939.589,20	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	87,86	7.725.626,23
41	Paket 41	2025	157.776.718,19	141,50	2.829.172,50	50,00	1.249.950,00	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	57,24	5.033.324,16
42	Paket 42	2025	148.911.408,90	82,00	960.630,00	35,10	908.528,40	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	68,15	5.992.719,69

(DPUPR Kabupaten Grobogan, 2025)

Tabel 4.4 Lanjutan Tabulasi Biaya Proyek Pembangunan Talud Sungai di Kabupaten Grobogan Tahun Anggaran 2023 sampai 2025

No.	Kode	Tahun	Biaya Total (Rp)	Timbunan Kembali		Pasangan Batu		Plesteran		Acian		Pipa Suling-Suling		Dokumentasi & As-built Drawing	
				Dim. (m ³)	(Rp)	Dim. (m ³)	(Rp)	Dim. (m ²)	(Rp)	Dim (m ²)	(Rp)	Dim (m)	(Rp)	Dim (Ls)	(Rp)
1	Paket 1	2023	179.316.800,92	34,80	488.070,00	156,60	139.062.052,80	288,84	14.538.472,56	288,84	8.068.456,56	87,00	4.586.901,00	1,00	1.500.000,00
2	Paket 2	2023	177.748.587,93	24,96	350.064,00	162,63	144.416.741,04	240,13	12.089.247,90	240,13	6.707.870,86	26,42	1.392.907,65	1,00	1.500.000,00
3	Paket 3	2023	177.748.436,38	-	-	164,25	145.855.314,00	204,30	10.285.279,20	204,30	5.706.916,20	67,40	3.553.284,98	1,00	1.500.000,00
4	Paket 4	2023	177.748.427,20	-	-	166,14	147.529.209,08	184,76	9.301.557,44	184,76	5.161.085,84	55,79	2.941.330,34	1,00	1.500.000,00
5	Paket 5	2023	177.748.222,97	32,16	451.044,00	176,88	142.647.706,08	227,80	11.468.363,20	227,80	6.363.593,00	47,60	2.509.614,80	1,00	1.500.000,00
6	Paket 6	2023	176.333.895,68	23,04	323.112,96	166,32	147.693.490,56	216,00	10.874.304,00	216,00	6.033.744,00	-	-	1,00	1.500.000,00
7	Paket 7	2023	175.495.892,43	42,14	591.013,50	156,80	139.239.654,40	210,70	10.607.480,80	210,70	5.885.693,80	68,60	3.616.797,80	1,00	1.500.000,00
8	Paket 8	2023	175.045.214,96	31,31	439.136,78	163,30	140.531.734,20	227,20	11.438.156,80	227,20	6.346.604,80	49,70	2.620.333,10	1,00	1.500.000,00
9	Paket 9	2023	172.342.795,80	58,70	824.670,00	158,90	136.745.208,00	256,20	12.898.132,00	256,20	7.156.690,80	57,00	3.005.211,00	1,00	1.500.000,00
10	Paket 10	2023	171.601.173,04	65,28	915.552,00	157,08	139.488.296,64	209,10	10.526.930,00	209,10	5.840.999,40	42,00	2.214.366,00	1,00	1.500.000,00
11	Paket 11	2023	170.624.916,38	-	-	153,79	132.349.396,61	247,78	12.474.034,98	247,78	6.921.374,78	33,67	1.775.183,41	1,00	1.500.000,00
12	Paket 12	2023	168.739.253,57	87,08	1.221.274,84	156,20	138.706.849,60	198,00	9.968.112,00	198,00	5.530.932,00	38,50	2.029.835,50	1,00	1.500.000,00
13	Paket 13	2023	168.738.863,22	16,34	3.601.751,52	153,92	136.682.191,36	203,43	10.241.479,92	203,43	5.682.613,62	32,40	1.708.225,20	1,00	1.500.000,00
14	Paket 14	2023	167.858.673,51	-	-	156,00	134.249.544,00	221,00	11.126.024,00	221,00	6.173.414,00	58,50	3.084.295,50	1,00	1.500.000,00
15	Paket 15	2023	166.937.060,57	43,68	612.612,00	156,00	134.249.544,00	265,20	13.351.228,80	265,20	7.408.096,80	46,80	2.467.436,40	1,00	1.500.000,00
16	Paket 16	2023	162.651.283,26	-	-	147,84	131.283.102,72	196,80	9.907.699,20	196,80	5.497.411,20	71,89	3.790.170,64	1,00	1.500.000,00
17	Paket 17	2023	157.574.025,88	34,58	484.984,50	144,97	124.483.129,54	220,78	11.109.428,82	220,78	6.167.268,52	53,20	2.804.331,00	1,00	1.500.000,00
18	Paket 18	2023	133.061.670,40	33,97	476.476,00	102,96	88.604.699,04	291,20	14.660.172,80	291,20	8.134.380,80	62,40	3.289.915,20	1,00	1.500.000,00
19	Paket 19	2024	178.186.011,11	19,18	215.199,60	156,87	142.060.238,17	260,30	13.115.736,10	260,30	7.275.905,60	55,60	2.897.038,00	1,00	1.500.000,00
20	Paket 20	2024	175.478.528,34	54,75	614.295,00	157,68	138.472.426,16	248,20	12.506.053,16	248,20	6.937.686,40	58,40	3.042.932,00	1,00	1.500.000,00
21	Paket 21	2024	174.582.361,08	13,28	148.945,50	160,48	140.931.449,76	200,60	10.107.632,20	200,60	5.607.171,20	47,20	2.459.356,00	1,00	1.500.000,00
22	Paket 22	2024	173.685.585,59	-	-	156,60	137.524.084,20	259,20	13.060.310,40	259,20	7.245.158,40	-	-	1,00	1.500.000,00

No.	Kode	Tahun	Biaya Total (Rp)	Timbunan Kembali		Pasangan Batu		Plesteran		Acian		Pipa Suling-Suling		Dokumentasi & As- built Drawing	
				Dim. (m ³)	(Rp)	Dim. (m ³)	(Rp)	Dim. (m ²)	(Rp)	Dim (m ²)	(Rp)	Dim (m)	(Rp)	Dim (Ls)	(Rp)
23	Paket 23	2024	173.445.504,95	59,40	666.468,00	148,50	134.484.718,50	268,95	13.551.583,65	268,95	7.517.690,40	66,80	3.480.614,00	1,00	1.500.000,00
24	Paket 24	2024	173.317.782,82	75,52	847.334,40	160,48	140.931.449,70	200,60	10.107.632,20	200,60	5.607.171,20	47,40	2.469.777,00	1,00	1.500.000,00
25	Paket 25	2024	171.344.286,54	75,95	852.170,22	149,38	135.281.664,98	198,85	10.019.454,95	198,85	5.558.255,20	77,60	4.043.348,00	1,00	1.500.000,00
26	Paket 26	2024	171.292.579,44	31,92	358.122,77	151,89	137.554.773,69	187,58	9.451.341,53	187,58	5.243.096,40	73,20	3.814.086,00	1,00	1.500.000,00
27	Paket 27	2024	169.186.276,15	-	-	155,25	136.338.531,75	229,50	11.563.816,50	229,50	6.414.984,00	51,80	2.699.039,00	1,00	1.500.000,00
28	Paket 28	2024	162.606.385,43	53,63	601.672,50	154,44	135.627.200,28	243,10	6.795.131,20	243,10	2.980.406,00	57,20	2.980.406,00	1,00	1.500.000,00
29	Paket 29	2024	161.978.624,03	16,10	180.642,00	143,18	129.662.286,68	233,45	11.762.845,15	233,45	6.525.394,40	46,80	2.438.514,00	1,00	1.500.000,00
30	Paket 30	2024	160.926.741,20	28,33	317.900,00	156,40	137.348.446,80	144,50	7.280.921,50	144,50	4.039.064,00	25,50	1.328.677,50	1,00	1.500.000,00
31	Paket 31	2024	157.644.392,09	17,36	194.779,20	141,36	128.018.584,56	199,95	10.074.880,65	199,95	5.589.002,40	38,00	1.979.990,00	1,00	1.500.000,00
32	Paket 32	2024	139.443.469,02	26,50	297.330,00	124,82	109.610.910,41	185,50	9.346.788,50	185,50	5.185.096,00	37,10	1.933.095,50	1,00	1.500.000,00
33	Paket 33	2025	178.186.416,38	29,65	368.607,51	147,73	137.740.192,15	224,36	12.010.556,81	224,36	6.814.201,18	98,08	5.127.426,24	1,00	1.500.000,00
34	Paket 34	2025	178.185.953,70	110,78	1.376.995,40	148,92	138.846.902,28	209,10	11.193.750,30	209,10	6.350.785,20	51,00	2.666.178,00	1,00	1.500.000,00
35	Paket 35	2025	178.185.630,43	103,15	1.282.154,50	147,42	137.448.363,78	225,81	12.088.286,73	225,81	6.858.301,32	58,50	3.058.263,00	1,00	1.500.000,00
36	Paket 36	2025	178.185.629,16	63,42	788.310,60	154,02	138.928.196,28	245,08	13.119.867,64	245,08	7.443.569,76	61,20	3.199.413,60	1,00	1.500.000,00
37	Paket 37	2025	177.406.982,81	81,90	1.019.017,00	145,34	135.509.057,06	240,50	12.874.686,60	240,50	7.304.466,00	78,00	4.077.684,00	1,00	1.500.000,00
38	Paket 38	2025	174.908.732,97	28,36	352.534,81	148,92	138.846.902,28	209,10	11.193.750,30	209,10	6.350.785,20	40,80	2.132.942,40	1,00	1.500.000,00
39	Paket 39	2025	173.631.142,12	58,68	729.329,40	146,70	132.325.453,80	265,69	14.223.182,77	265,69	8.069.536,68	66,00	3.450.348,00	1,00	1.500.000,00
40	Paket 40	2025	173.530.343,63	29,29	364.021,25	148,80	138.735.019,20	199,95	10.703.923,35	199,95	6.072.881,40	46,00	2.404.788,00	1,00	1.500.000,00
41	Paket 41	2025	157.776.718,19	-	-	135,95	122.624.293,23	244,86	13.108.090,38	244,86	7.436.887,92	-	-	1,00	1.500.000,00
42	Paket 42	2025	148.911.408,90	22,72	282.369,00	126,28	117.738.294,52	168,10	8.998.897,30	168,10	5.105.533,20	65,60	3.429.436,80	1,00	1.500.000,00

(DPUPR Kabupaten Grobogan, 2025)

Berdasarkan Tabel 4.3 dan Tabel 4.4, variabel yang digunakan dalam penelitian ini ditetapkan sebagaimana disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Variabel Penelitian

No	Item Pekerjaan	Variabel	Satuan/Dimensi
1	Total Biaya Proyek	Y	Rupiah
2	Pembersihan & <i>Striping</i>	X1	m ²
3	Pemasangan Profil Melintang	X2	m
4	Mobilisasi Alat	X3	ls
5	Papan Nama Kegiatan	X4	ls
6	K3	X5	ls
7	Galian Tanah	X6	m ³
8	Timbunan Kembali	X7	m ³
9	Pasangan Batu	X8	m ³
10	Plesteran	X9	m ²
11	Acian	X10	m ²
12	Pipa Suling-Suling	X11	m
13	Dokumentasi dan <i>As-built Drawing</i>	X12	ls

4.1.2 Data Inflasi

Selain data RAB, data sekunder yang digunakan adalah data inflasi tahunan (*year-on-year*) yang diperoleh dari BPS Kabupaten Grobogan. Data tersebut mencakup nilai inflasi tahun 2023 dan 2024 sebagaimana disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Nilai Inflasi Tahunan (*Year-On-Year*)

No.	Tahun	Nilai Inflasi Tahunan (%)
1	2023	2,96
2	2024	1,71

(BPS Kabupaten Grobogan, 2025)

Nilai inflasi tahunan (*year-on-year*) digunakan sebagai dasar perhitungan Faktor Penyeragaman Biaya (FPB), yang berfungsi untuk menyesuaikan nilai biaya proyek dari tahun pelaksanaan paket pekerjaan menuju tahun acuan penelitian.

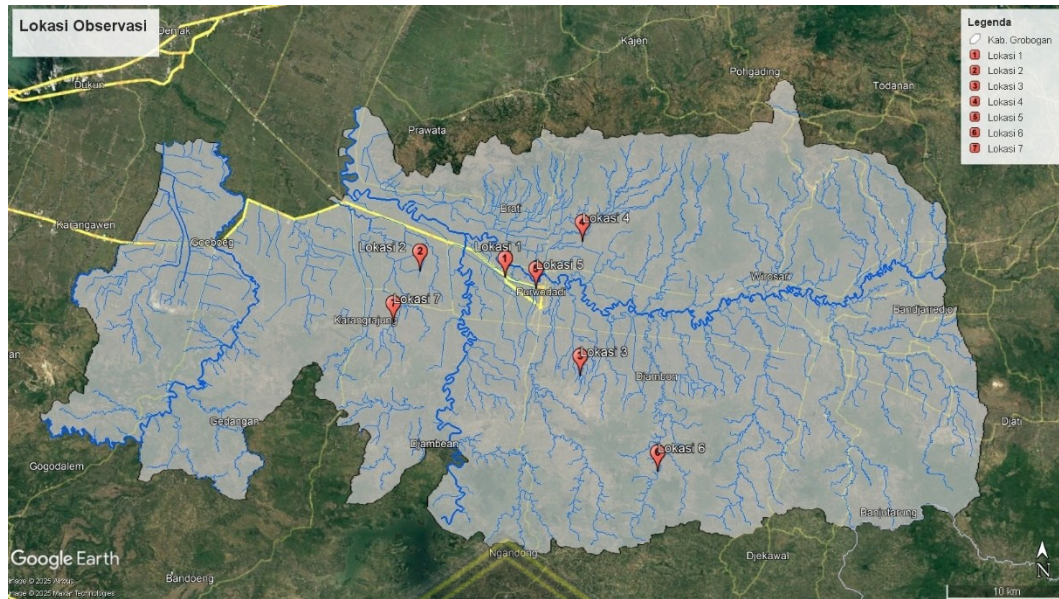
4.1.3 Data Survei Pengukuran

Data yang digunakan merupakan data primer hasil survei dan pengukuran langsung di lapangan pada lokasi usulan pembangunan talud. Lokasi tersebut diajukan oleh pemerintah desa maupun berasal dari penelusuran tim teknis DPUPR yang belum terealisasi karena keterbatasan anggaran. Jumlah lokasi yang disurvei sebanyak 7, dengan rincian sebagaimana disajikan pada Tabel 4.7 dan lokasi ditunjukkan pada peta yang disajikan dalam Gambar 4.1.

Tabel 4.7 Data Hasil Survei dan Pengukuran

No	Lokasi	Dokumentasi	Kebutuhan Panjang Talud	Kebutuhan Tinggi Talud
1.	Sungai Kuripan Kel. Purwodadi Kec. Purwodadi		120 meter	1,50 meter
2.	Sungai Pulutan Desa Pulutan Kec. Penawangan		80 meter	1,80 meter
3.	Sungai Kaluwan Desa Boloh Kec. Toroh		60 meter	1,90 meter

No	Lokasi	Dokumentasi	Kebutuhan Panjang Talud	Kebutuhan Tinggi Talud
4.	Sungai Sasak Desa Tanggungharjo Kec. Grobogan		100 meter	1,50 meter
5.	Sungai Sadon Kel. Kuripan Kec. Purwodadi		200 meter	1,20 meter
6.	Sungai Peganjing Desa Asemrudung Kec. Geyer		70 meter	2,00 meter
7.	Sungai Tlecer Desa Tunggu Kec. Penawangan		80 meter	1,80 meter



Gambar 4.1 Peta Lokasi Survei Lapangan

4.2 Pengolahan Data

Sebelum digunakan dalam analisis, data biaya terlebih dahulu diselaraskan ke tahun proyeksi dengan menggunakan Faktor Penyeragaman Biaya (FPB). FPB digunakan untuk menyesuaikan nilai biaya dari tahun tertentu menuju tahun acuan penelitian, sehingga seluruh data berada pada satuan harga yang setara. Formulasi umum FPB dari tahun t ke tahun proyeksi T adalah sebagai berikut:

$$FPB_{t \rightarrow T} = \prod_{i=t}^{T-1} (1 + inflasi_i) \dots \dots \dots (4.1)$$

Keterangan:

- t = tahun awal
- T = tahun proyeksi
- Inflasi dinyatakan dalam bentuk desimal
- Perhitungan dilakukan dengan mengalikan faktor inflasi setiap tahun, mulai dari tahun awal hingga tahun sebelum tahun proyeksi

Berdasarkan data inflasi tahunan pada Tabel 4.6, perhitungan FPB menuju tahun proyeksi 2025 dilakukan sebagai berikut:

1. Tahun 2023 ke Tahun 2025

$$FPB = (1 + 0,0296) \times (1 + 0,0171)$$

2. Tahun 2024 ke Tahun 2025

$$FPB = (1 + 0,0171)$$

Hasil perhitungan FPB dari masing-masing tahun awal menuju tahun proyeksi 2025 disajikan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Nilai Faktor Penyeragaman Biaya

Tahun Awal	FPB ke 2025
2023	1,0472
2024	1,0171

Selanjutnya, nilai biaya setiap paket pekerjaan disesuaikan ke tahun proyeksi dengan mengalikan FPB yang telah dihitung sebelumnya. Sebagai contoh, berikut perhitungan penyesuaian Biaya Total untuk Paket 1 (tahun anggaran 2024) dan Paket 19 (tahun anggaran 2023) yang diproyeksikan ke tahun 2025:

- Biaya Total Paket 1 = $\text{Rp}179.316.800,92 \times 1,0171$
= $\text{Rp}187.781.658,51$
- Biaya Total Paket 19 = $\text{Rp}178.186.011,11 \times 1,0472$
= $\text{Rp}181.232.991,90$

Perhitungan penyesuaian biaya juga diterapkan pada setiap item pekerjaan dengan cara mengalikan nilai awal biaya dengan FPB sesuai tahun anggaran menuju tahun proyeksi.

Dari total 42 paket pekerjaan yang diperoleh, tidak seluruhnya digunakan sebagai data pelatihan (*training*). Data tersebut dibagi menjadi dua kelompok, yaitu data pelatihan (*training data*) dan data pengujian (*testing data*), yang dalam konteks ini dikenal sebagai pengujian eksternal. Data pelatihan digunakan untuk membangun model, baik pada metode CSM maupun ANN, sedangkan data pengujian digunakan untuk mengevaluasi kinerja model tersebut. Pembagian ini bertujuan untuk mengukur kemampuan model dalam melakukan generalisasi terhadap data baru yang tidak termasuk dalam data pelatihan dan menghindari risiko *overfitting* yang tinggi.

Pendekatan serupa telah digunakan pada penelitian sebelumnya, misalnya oleh Tahapari et al., (2021) yang menggunakan 28 data pelatihan dan 3 data pengujian dan Akbar et al., (2024) yang menggunakan 27 data pelatihan dan 3 data pengujian. Dalam penelitian ini, komposisi data yang digunakan adalah 37 data pelatihan dan 5 data pengujian, dengan Paket 1 hingga Paket 37 dikelompokkan sebagai data pelatihan dan Paket 38 hingga Paket 42 sebagai data pengujian. Hasil perhitungan

lengkap seluruh item pekerjaan pada data pelatihan (*training data*) disajikan pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10. Adapun dimensi item pekerjaan yang digunakan sebagai data pengujian (*testing data*) disajikan pada Tabel 4.11.



Tabel 4.9 Tabulasi Data Pelatihan yang Diproyeksikan ke Tahun 2025

No.	Kode	Biaya Total (Y) (Rp)	Pembersihan & <i>Striping</i> (X1)		Pemasangan Profil Melintang (X2)		Mobilisasi Alat (X3)		Papan Nama Kegiatan (X4)		K3 (X5)		Galian Tanah (X6)	
			Dim. (m ²)	Biaya (Rp)	Dim. (m)	Biaya (Rp)	Dim. (Ls)	Biaya (Rp)	Dim. (Ls)	Biaya (Rp)	Dim. (Ls)	Biaya (Rp)	Dim. (m ³)	Biaya (Rp)
1	Paket 1	187.781.658,51	94,70	556.346,08	54,00	1.303.908,85	1,00	1.832.610,78	1,00	418.882,46	1,00	1.932.095,37	63,00	5.551.711,10
2	Paket 2	186.139.416,21	74,88	439.907,01	24,96	602.696,13	1,00	1.832.610,78	1,00	418.882,46	1,00	1.932.095,37	74,88	6.598.605,19
3	Paket 3	186.139.257,51	126,20	741.403,11	30,00	724.394,39	1,00	1.832.610,78	1,00	418.882,46	1,00	1.932.095,37	64,80	5.710.331,41
4	Paket 4	186.139.247,89	134,70	791.339,14	40,00	965.859,19	1,00	1.832.610,78	1,00	418.882,46	1,00	1.932.095,37	67,05	5.908.606,81
5	Paket 5	186.139.034,02	134,00	787.226,76	56,18	1.356.657,56	1,00	1.832.610,78	1,00	418.882,46	1,00	1.932.095,37	80,40	7.085.040,83
6	Paket 6	184.657.941,77	54,00	317.240,63	54,00	1.303.909,90	1,00	1.832.610,78	1,00	418.882,46	1,00	1.932.095,37	69,12	4.572.282,38
7	Paket 7	183.780.379,60	68,60	403.013,10	36,30	876.517,21	1,00	1.832.610,78	1,00	418.882,46	1,00	1.932.095,37	105,03	9.255.627,68
8	Paket 8	183.308.427,38	142,00	834.225,37	142,00	3.428.800,11	1,00	1.832.610,78	1,00	418.882,46	1,00	1.932.095,37	64,96	4.297.098,72
9	Paket 9	180.478.437,39	94,80	556.933,56	32,00	772.687,35	1,00	1.832.610,78	1,00	418.882,46	1,00	1.932.095,37	58,80	5.181.785,52
10	Paket 10	179.701.805,47	100,90	592.770,00	46,00	1.110.738,06	1,00	1.832.610,78	1,00	418.882,46	1,00	1.932.095,37	65,28	5.752.630,17
11	Paket 11	178.679.463,48	92,80	545.184,95	34,00	820.980,31	1,00	1.832.610,78	1,00	418.882,46	1,00	1.932.095,37	122,46	10.791.821,39
12	Paket 12	176.704.785,77	10,00	58.748,27	10,00	241.464,80	1,00	1.832.610,78	1,00	418.882,46	1,00	1.932.095,37	87,08	5.760.230,40
13	Paket 13	176.704.377,00	10,00	58.748,27	10,00	241.464,80	1,00	1.832.610,78	1,00	418.882,46	1,00	1.932.095,37	66,56	5.278.884,15
14	Paket 14	175.782.636,91	174,90	1.027.507,16	18,72	452.022,10	1,00	1.832.610,78	1,00	418.882,46	1,00	1.932.095,37	75,08	6.615.789,06
15	Paket 15	174.817.518,16	-	-	25,76	622.003,11	1,00	1.832.610,78	1,00	418.882,46	1,00	1.932.095,37	43,68	2.889.428,45
16	Paket 16	170.329.425,76	104,35	613.038,15	40,00	965.859,19	1,00	1.832.610,78	1,00	418.882,46	1,00	1.932.095,37	61,44	5.414.240,16
17	Paket 17	165.012.490,56	53,60	314.890,70	54,00	1.303.909,90	1,00	1.832.610,78	1,00	418.882,46	1,00	1.932.095,37	65,17	5.742.936,70
18	Paket 18	139.343.000,90	208,00	1.221.963,92	208,00	5.022.467,76	1,00	1.832.610,78	1,00	418.882,46	1,00	1.932.095,37	101,92	6.741.999,72
19	Paket 19	181.232.991,90	125,75	1.350.627,43	48,00	1.165.401,32	1,00	1.779.925,00	1,00	500.616,62	1,00	1.876.549,50	57,54	4.638.958,15
20	Paket 20	178.479.211,17	102,50	1.100.909,04	23,36	567.161,97	1,00	1.779.925,00	1,00	406.840,00	1,00	1.876.549,50	85,41	6.885.877,92
21	Paket 21	177.567.719,45	74,94	1.819.482,81	-	-	1,00	1.779.925,00	1,00	406.840,00	1,00	1.876.549,50	101,48	8.181.464,60

No.	Kode	Biaya Total (Y) (Rp)	Pembersihan & <i>Striping</i> (X1)		Pemasangan Profil Melintang (X2)		Mobilisasi Alat (X3)		Papan Nama Kegiatan (X4)		K3 (X5)		Galian Tanah (X6)	
			Dim. (m ²)	Biaya (Rp)	Dim. (m)	Biaya (Rp)	Dim. (Ls)	Biaya (Rp)	Dim. (Ls)	Biaya (Rp)	Dim. (Ls)	Biaya (Rp)	Dim. (m ³)	Biaya (Rp)
22	Paket 22	176.655.609,10	54,00	579.991,10	69,46	1.686.454,52	1,00	1.779.925,00	1,00	406.840,00	1,00	1.876.549,50	102,60	8.271.760,63
23	Paket 23	176.411.423,08	177,40	1.905.378,18	66,00	1.602.426,81	1,00	1.779.925,00	1,00	500.616,62	1,00	1.876.549,50	59,40	4.788.914,05
24	Paket 24	176.281.516,91	118,00	1.267.387,97	118,00	2.963.359,50	1,00	1.779.925,00	1,00	406.840,00	1,00	1.876.549,50	75,52	3.763.066,91
25	Paket 25	174.274.273,84	135,80	1.458.570,22	17,55	440.736,94	1,00	1.779.925,00	1,00	406.840,00	1,00	1.876.549,50	103,79	8.367.700,15
26	Paket 26	174.221.682,55	128,10	1.375.867,79	17,55	440.736,94	1,00	1.779.925,00	1,00	406.840,00	1,00	1.876.549,50	95,75	7.719.886,66
27	Paket 27	172.079.361,47	70,00	751.840,32	29,00	704.096,63	1,00	1.779.925,00	1,00	406.840,00	1,00	1.876.549,50	66,15	5.333.108,82
28	Paket 28	165.386.954,62	95,18	1.022.288,02	33,61	815.902,32	1,00	1.779.925,00	1,00	406.840,00	1,00	1.876.549,50	79,72	6.427.343,44
29	Paket 29	164.748.458,50	102,85	1.104.668,24	38,00	922.609,38	1,00	1.779.925,00	1,00	500.616,62	1,00	1.876.549,50	48,30	3.894.015,97
30	Paket 30	163.678.588,47	42,50	456.474,48	20,40	512.309,61	1,00	1.779.925,00	1,00	406.840,00	1,00	1.876.549,50	85,00	4.235.443,42
31	Paket 31	160.340.111,19	101,25	1.087.483,32	42,00	1.019.726,15	1,00	1.779.925,00	1,00	500.616,62	1,00	1.876.549,50	52,08	4.198.765,04
32	Paket 32	141.827.952,34	104,08	1.117.879,15	24,91	604.794,73	1,00	1.779.925,00	1,00	406.840,00	1,00	1.876.549,50	74,20	5.982.111,49
33	Paket 33	178.186.416,38	171,64	2.010.762,60	30,78	796.709,52	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	88,96	7.822.960,38
34	Paket 34	178.185.953,70	102,00	1.194.930,00	51,00	1.320.084,00	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	110,78	9.741.328,52
35	Paket 35	178.185.630,43	117,00	1.370.655,00	58,50	1.514.214,00	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	103,15	9.070.392,10
36	Paket 36	178.185.629,16	156,60	1.834.569,00	72,00	1.799.928,00	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	63,42	5.576.774,28
37	Paket 37	177.406.982,81	259,20	3.036.528,00	50,00	1.234.550,00	1,00	1.750.000,00	1,00	400.000,00	1,00	1.845.000,00	77,97	6.855.994,15
Kumulatif		6.474.975.771,42		35.706.778,86		42.227.543,04		66.655.944,04		15.610.750,83		70.274.409,57		230.904.916,51

Tabel 4.10 Lanjutan Tabulasi Data Pelatihan Diproyeksikan ke Tahun 2025

No.	Kode	Biaya Total (Y) (Rp)	Timbunan Kembali (X7)		Pasangan Batu (X8)		Plesteran (X9)		Acian (X10)		Pipa Suling-Suling (X11)		Dokumentasi & As- built Drawing (X12)	
			Dim. (m ³)	(Rp)	Dim. (m ³)	(Rp)	Dim. (m ²)	(Rp)	Dim (m ²)	(Rp)	Dim (m)	(Rp)	Dim (Ls)	(Rp)
1	Paket 1	187.781.658,51	34,80	511.109,91	156,60	145.626.638,31	288,84	15.224.778,02	288,84	8.449.337,41	87,00	4.803.430,98	1,00	1.570.809,24
2	Paket 2	186.139.416,21	24,96	366.589,18	162,63	151.234.100,82	240,13	12.659.934,87	240,13	7.024.523,69	26,42	1.458.661,47	1,00	1.570.809,24
3	Paket 3	186.139.257,51	-	-	164,25	152.740.583,29	204,30	10.770.807,74	204,30	5.976.317,80	67,40	3.721.021,92	1,00	1.570.809,24
4	Paket 4	186.139.247,89	-	-	166,14	154.493.496,53	184,76	9.740.648,25	184,76	5.404.720,88	55,79	3.080.179,25	1,00	1.570.809,24
5	Paket 5	186.139.034,02	32,16	472.336,06	176,88	149.381.556,52	227,80	12.009.740,59	227,80	6.663.993,79	47,60	2.628.084,08	1,00	1.570.809,24
6	Paket 6	184.657.941,77	23,04	338.365,88	166,32	154.665.533,11	216,00	11.387.638,13	216,00	6.318.573,88	-	-	1,00	1.570.809,24
7	Paket 7	183.780.379,60	42,14	618.912,98	156,80	145.812.623,80	210,70	11.108.219,24	210,70	6.163.534,80	68,60	3.787.532,94	1,00	1.570.809,24
8	Paket 8	183.308.427,38	31,31	459.866,74	163,30	147.165.697,73	227,20	11.978.108,26	227,20	6.646.203,64	49,70	2.744.028,96	1,00	1.570.809,24
9	Paket 9	180.478.437,39	58,70	863.599,50	158,90	143.200.424,17	256,20	13.507.003,28	256,20	7.494.530,69	57,00	3.147.075,47	1,00	1.570.809,24
10	Paket 10	179.701.805,47	65,28	958.771,69	157,08	146.073.003,49	209,10	11.023.865,94	209,10	6.116.730,55	42,00	2.318.897,72	1,00	1.570.809,24
11	Paket 11	178.679.463,48	-	-	153,79	138.597.103,40	247,78	13.062.886,27	247,78	7.248.106,31	33,67	1.858.983,00	1,00	1.570.809,24
12	Paket 12	176.704.785,77	87,08	1.278.926,54	156,20	145.254.667,34	198,00	10.438.668,29	198,00	5.792.026,06	38,50	2.125.656,24	1,00	1.570.809,24
13	Paket 13	176.704.377,00	16,34	3.771.776,38	153,92	143.134.432,75	203,43	10.724.940,86	203,43	5.950.867,99	32,40	1.788.863,95	1,00	1.570.809,24
14	Paket 14	175.782.636,91	-	-	156,00	140.586.949,45	221,00	11.651.240,87	221,00	6.464.837,17	58,50	3.229.893,25	1,00	1.570.809,24
15	Paket 15	174.817.518,16	43,68	641.531,06	156,00	140.586.949,45	265,20	13.981.489,04	265,20	7.757.804,60	46,80	2.583.914,60	1,00	1.570.809,24
16	Paket 16	170.329.425,76	-	-	147,84	137.480.473,87	196,80	10.375.403,63	196,80	5.756.922,87	71,89	3.969.090,04	1,00	1.570.809,24
17	Paket 17	165.012.490,56	34,58	507.878,76	144,97	130.359.500,07	220,78	11.633.862,29	220,78	6.458.401,58	53,20	2.936.712,70	1,00	1.570.809,24
18	Paket 18	139.343.000,90	33,97	498.968,60	102,96	92.787.386,64	291,20	15.352.223,26	291,20	8.518.373,68	62,40	3.445.219,46	1,00	1.570.809,24
19	Paket 19	181.232.991,90	19,18	218.879,51	156,87	144.489.468,24	260,30	13.340.015,19	260,30	7.400.323,59	55,60	2.946.577,35	1,00	1.525.650,00
20	Paket 20	178.479.211,17	54,75	624.799,44	157,68	140.840.304,65	248,20	12.719.906,67	248,20	7.056.320,84	58,40	3.094.966,14	1,00	1.525.650,00
21	Paket 21	177.567.719,45	13,28	151.492,47	160,48	143.341.377,55	200,60	10.280.472,71	200,60	5.703.053,83	47,20	2.501.410,99	1,00	1.525.650,00

No.	Kode	Biaya Total (Y) (Rp)	Timbunan Kembali (X7)		Pasangan Batu (X8)		Plesteran (X9)		Acian (X10)		Pipa Suling-Suling (X11)		Dokumentasi & As- built Drawing (X12)	
			Dim. (m ³)	(Rp)	Dim. (m ³)	(Rp)	Dim. (m ²)	(Rp)	Dim (m ²)	(Rp)	Dim (m)	(Rp)	Dim (Ls)	(Rp)
22	Paket 22	176.655.609,10	-	-	156,60	139.875.746,04	259,20	13.283.641,71	259,20	7.369.050,61	-	-	1,00	1.525.650,00
23	Paket 23	176.411.423,08	59,40	677.864,60	148,50	136.784.407,19	268,95	13.783.315,73	268,95	7.646.242,91	66,80	3.540.132,50	1,00	1.525.650,00
24	Paket 24	176.281.516,91	75,52	861.823,82	160,48	143.341.377,49	200,60	10.280.472,71	200,60	5.703.053,83	47,40	2.512.010,19	1,00	1.525.650,00
25	Paket 25	174.274.273,84	75,95	866.742,33	149,38	137.594.981,45	198,85	10.190.787,63	198,85	5.653.301,36	77,60	4.112.489,25	1,00	1.525.650,00
26	Paket 26	174.221.682,55	31,92	364.246,66	151,89	139.906.960,32	187,58	9.612.959,47	187,58	5.332.753,35	73,20	3.879.306,87	1,00	1.525.650,00
27	Paket 27	172.079.361,47	-	-	155,25	138.669.920,64	229,50	11.761.557,76	229,50	6.524.680,23	51,80	2.745.192,57	1,00	1.525.650,00
28	Paket 28	165.386.954,62	53,63	611.961,10	154,44	137.946.425,40	243,10	6.911.327,94	243,10	3.031.370,94	57,20	3.031.370,94	1,00	1.525.650,00
29	Paket 29	164.748.458,50	16,10	183.730,98	143,18	131.879.511,78	233,45	11.963.989,80	233,45	6.636.978,64	46,80	2.480.212,59	1,00	1.525.650,00
30	Paket 30	163.678.588,47	28,33	323.336,09	156,40	139.697.105,24	144,50	7.405.425,26	144,50	4.108.131,99	25,50	1.351.397,89	1,00	1.525.650,00
31	Paket 31	160.340.111,19	17,36	198.109,92	141,36	130.207.702,36	199,95	10.247.161,11	199,95	5.684.574,34	38,00	2.013.847,83	1,00	1.525.650,00
32	Paket 32	141.827.952,34	26,50	302.414,34	124,82	111.485.256,98	185,50	9.506.618,58	185,50	5.273.761,14	37,10	1.966.151,43	1,00	1.525.650,00
33	Paket 33	178.186.416,38	29,65	368.607,51	147,73	137.740.192,15	224,36	12.010.556,81	224,36	6.814.201,18	98,08	5.127.426,24	1,00	1.500.000,00
34	Paket 34	178.185.953,70	110,78	1.376.995,40	148,92	138.846.902,28	209,10	11.193.750,30	209,10	6.350.785,20	51,00	2.666.178,00	1,00	1.500.000,00
35	Paket 35	178.185.630,43	103,15	1.282.154,50	147,42	137.448.363,78	225,81	12.088.286,73	225,81	6.858.301,32	58,50	3.058.263,00	1,00	1.500.000,00
36	Paket 36	178.185.629,16	63,42	788.310,60	154,02	138.928.196,28	245,08	13.119.867,64	245,08	7.443.569,76	61,20	3.199.413,60	1,00	1.500.000,00
37	Paket 37	177.406.982,81	81,90	1.019.017,00	145,34	135.509.057,06	240,50	12.874.686,60	240,50	7.304.466,00	78,00	4.077.684,00	1,00	1.500.000,00
Kumulatif		6.474.975.771,42		21.509.119,56		5.163.714.377,63		429.206.259,20		238.100.728,46		103.931.277,40		57.133.666,32

Tabel 4.11 Tabulasi Data Pengujian

No	Kode	Biaya Total (Y) (Rp)	Pembersihan & Striping (X1) (m ²)	Pemasangan Profil Melintang (X2) (m)	Mobilisasi Alat (X3) (Ls)	Papan Nama Kegiatan (X4) (Ls)	K3 (X5) (Ls)	Galian Tanah (X6) (m ³)	Timbunan Kembali (X7) (m ³)	Pasangan Batu (X8) (m ³)	Plesteran (X9) (m ²)	Acian (X10) (m ²)	Pipa Suling- Suling (X11) (m)	Dokumentasi & As-built Drawing (X12) (Ls)
1	Paket 38	174,908,732.97	154,08	48,00	1,00	1,00	1,00	85,17	28,36	148,92	209,10	209,10	40,80	1,00
2	Paket 39	173,631,142.12	209,69	66,00	1,00	1,00	1,00	58,68	58,68	146,70	265,69	265,69	66,00	1,00
3	Paket 40	173,530,343.63	93,00	36,30	1,00	1,00	1,00	87,86	29,29	148,80	199,95	199,95	46,00	1,00
4	Paket 41	157,776,718.19	141,50	50,00	1,00	1,00	1,00	57,24	-	135,95	244,86	244,86	-	1,00
5	Paket 42	148,911,408.90	82,00	35,10	1,00	1,00	1,00	68,15	22,72	126,28	168,10	168,10	65,60	1,00

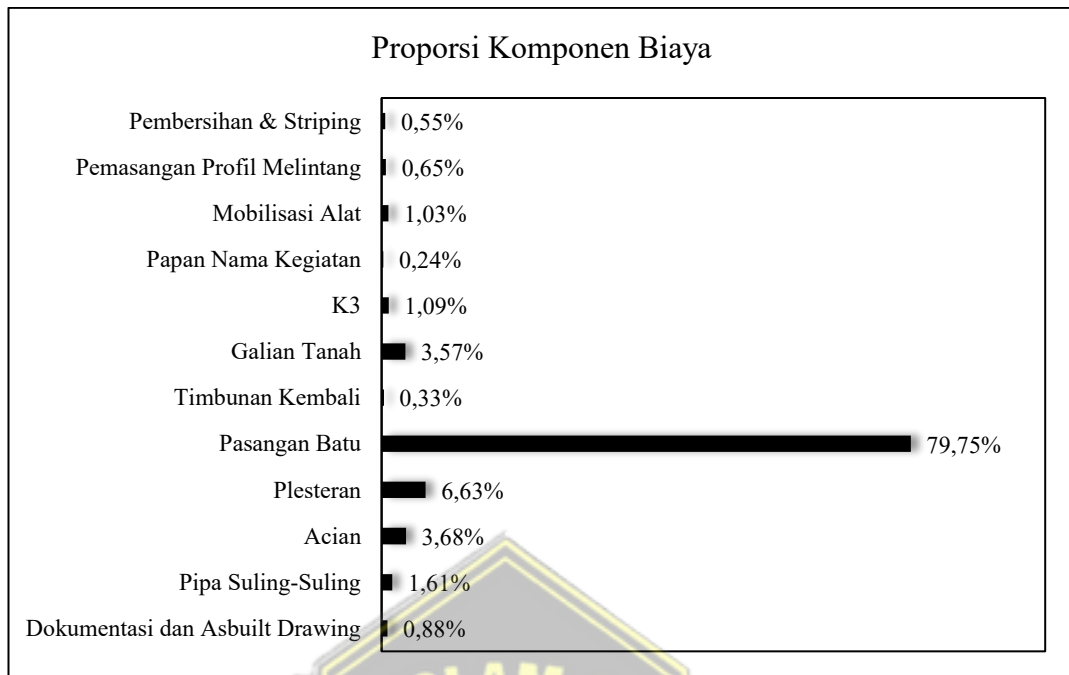


4.3 Menentukan *Cost Significant Items*

Prinsip CSI menyatakan bahwa sekitar 80% dari total biaya proyek terkonsentrasi pada 20% item pekerjaan dengan nilai tertinggi. Perhitungan proporsi biaya tersebut didasarkan pada data yang disajikan pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10. Selanjutnya, hasil analisis mengenai distribusi komponen biaya ditampilkan pada Tabel 4.12 serta divisualisasikan dalam bentuk diagram pada Gambar 4.2.

Tabel 4.12 Proporsi Komponen Biaya

No.	Item Pekerjaan	Jumlah biaya (Rp)	Persentase (%)
1	Pembersihan & <i>Striping</i>	35.706.778,86	0,55
2	Pemasangan Profil Melintang	42.227.543,04	0,65
3	Mobilisasi Alat	66.655.944,04	1,03
4	Papan Nama Kegiatan	15.610.750,83	0,24
5	K3	70.274.409,57	1,09
6	Galian Tanah	230.904.916,51	3,57
7	Timbunan Kembali	21.509.119,56	0,33
8	Pasangan Batu	5.163.714.377,63	79,75
9	Plesteran	429.206.259,20	6,63
10	Acian	238.100.728,46	3,68
11	Pipa Suling-Suling	103.931.277,40	1,61
12	Dokumentasi dan <i>As-built Drawing</i>	57.133.666,32	0,88
13	Total Biaya Proyek	6.474.975.771,42	100,00



Gambar 4.2 Proporsi Komponen Biaya

Berdasarkan data pada Tabel 4.12 dan Gambar 4.2, *Cost Significant Items* dalam penelitian ini ditentukan mulai dari item dengan proporsi biaya terbesar, yaitu:

1. Biaya pasangan batu : prosentase = 79,75%
 2. Biaya Plesteran : prosentase = 6,63%
-
- jumlah = 86,38%

Dengan demikian, variabel bebas yang digunakan sebagai CSI adalah dimensi pasangan batu (X8) dan dimensi plesteran (X9).

4.4 Bentuk Estimasi Biaya dengan CSM

Perhitungan menggunakan metode CSM dilakukan berdasarkan prinsip regresi linier berganda. Dalam penelitian ini, variabel bebas yang digunakan berupa dimensi item pekerjaan, bukan biaya item pekerjaan. Selain itu, tidak semua item pekerjaan dijadikan variabel dalam CSM, melainkan hanya item dengan kontribusi biaya paling signifikan (*Cost Significant Items*). Adapun variabel yang digunakan sebagaimana Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 disesuaikan dengan hanya memuat variabel bebas yang termasuk *Cost Significant Items* dan hasil penyederhanaannya disajikan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Variabel yang Digunakan dalam Metode CSM

No	Total Biaya (Rp)	Pasangan Batu (m ³)	Plesteran (m ²)
	Y	X8	X9
1	187.781.658,51	156,60	288,84
2	186.139.416,21	162,63	240,13
3	186.139.257,51	164,25	204,30
4	186.139.247,89	166,14	184,76
5	186.139.034,02	176,88	227,80
6	184.657.941,77	166,32	216,00
7	183.780.379,60	156,80	210,70
8	183.308.427,38	163,30	227,20
9	180.478.437,39	158,90	256,20
10	179.701.805,47	157,08	209,10
11	178.679.463,48	153,79	247,78
12	176.704.785,77	156,20	198,00
13	176.704.377,00	153,92	203,43
14	175.782.636,91	156,00	221,00
15	174.817.518,16	156,00	265,20
16	170.329.425,76	147,84	196,80
17	165.012.490,56	144,97	220,78
18	139.343.000,90	102,96	291,20
19	181.232.991,90	156,87	260,30
20	178.479.211,17	157,68	248,20
21	177.567.719,45	160,48	200,60
22	176.655.609,10	156,60	259,20
23	176.411.423,08	148,50	268,95
24	176.281.516,91	160,48	200,60
25	174.274.273,84	149,38	198,85
26	174.221.682,55	151,89	187,58
27	172.079.361,47	155,25	229,50
28	165.386.954,62	154,44	243,10
29	164.748.458,50	143,18	233,45
30	163.678.588,47	156,40	144,50
31	160.340.111,19	141,36	199,95
32	141.827.952,34	124,82	185,50
33	178.186.416,38	147,73	224,36
34	178.185.953,70	148,92	209,10
35	178.185.630,43	147,42	225,81
36	178.185.629,16	154,02	245,08
37	177.406.982,81	145,34	240,50

4.4.1 Uji Normalitas

Uji normalitas digunakan untuk memastikan nilai residual berdistribusi normal sebagai syarat analisis regresi linier pada CSM. Pengujian dilakukan dengan metode Kolmogorov-Smirnov pada taraf signifikansi (p -value) $\alpha=0,05$. Berikut hasil uji normalitas dengan metode Kolmogorov-Smirnov menggunakan bantuan program SPSS dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Hasil Uji Normalitas Metode Kolmogorov-Smirnov

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		
		Standardized Residual
N		37
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	,0000000
	Std. Deviation	,97182532
Most Extreme Differences	Absolute	,059
	Positive	,055
	Negative	-,059
Test Statistic		,059
Asymp. Sig. (2-tailed)		,200 ^{c,d}

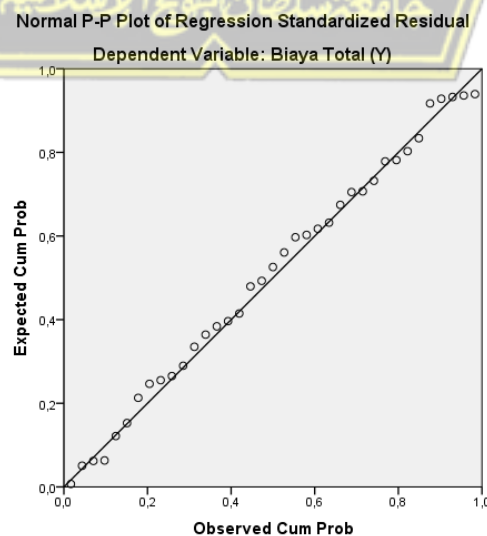
a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

c. Lilliefors Significance Correction.

d. This is a lower bound of the true significance.

Berdasarkan hasil uji normalitas diperoleh nilai signifikansi sebesar $0,200 > 0,05$. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa data residual berdistribusi normal. Hal tersebut juga diperkuat dengan grafik *probability plot* (P-Plot) pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik Normal P-Plot

4.4.2 Uji Multikolinearitas

Uji multikolinearitas merupakan metode untuk mengidentifikasi adanya hubungan yang kuat antarvariabel bebas dalam model regresi. Data yang baik seharusnya bebas dari multikolinearitas sehingga setiap variabel bebas dapat memberikan pengaruh secara independen terhadap variabel terikat. Deteksi multikolinearitas dilakukan dengan melihat nilai *Tolerance* dan *Variance Inflation Factor* (VIF); data dinyatakan bebas multikolinearitas apabila *Tolerance* $> 0,10$ dan *VIF* < 10 . Pada penelitian ini, pengujian dilakukan menggunakan program SPSS. Berikut hasil uji multikolinearitas dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Hasil Uji Multikolinearitas

Coefficients ^a			
Model		Collinearity Statistics	
		Tolerance	VIF
1	Pasangan Batu (X8)	,967	1,034
	Plesteran (X9)	,967	1,034

a. Dependent Variable: Biaya Total (Y)

Berdasarkan hasil uji diperoleh bahwa variabel Pasangan Batu (X8) dan Plesteran (X9) memiliki nilai *Tolerance* sebesar $0,967 > 0,10$ dan nilai VIF sebesar $1,034 < 10$. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa antarvariabel bebas tidak terdapat masalah multikolinearitas.

4.4.3 Uji Heteroskedastisitas

Uji heteroskedastisitas digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya ketidaksamaan varians dari residual pada model regresi. Data yang baik seharusnya bebas dari heteroskedastisitas agar model regresi menghasilkan estimasi yang konsisten. Deteksi heteroskedastisitas dapat dilakukan dengan uji Glejser, yaitu dengan meregresikan nilai residual absolut terhadap variabel bebas. Data dinyatakan bebas heteroskedastisitas apabila nilai signifikansi lebih besar dari 0,05. Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan menggunakan program SPSS. Berikut hasil uji Glejser dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Hasil Uji Heteroskedastisitas

Coefficients ^a					
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	10136801,59	7665114,756		,195
	Pasangan Batu (X8)	-16657,165	40257,304	-,071	,682
	Plesteran (X9)	-16701,800	15803,451	-,181	,298

a. Dependent Variable: ABS_RES

Berdasarkan tabel di atas, nilai signifikansi variabel Pasangan Batu (X8) sebesar 0,682 dan Plesteran (X9) sebesar 0,298, keduanya lebih besar dari 0,05. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa seluruh variabel bebas tidak mengalami gejala heteroskedastisitas.

4.4.4 Uji Autokorelasi

Uji autokorelasi merupakan pengujian untuk mengetahui ada atau tidaknya korelasi antara residual pada satu pengamatan dengan residual pada pengamatan lain dalam model regresi. Data yang baik seharusnya bebas dari autokorelasi agar estimasi parameter regresi tidak bias. Deteksi autokorelasi dapat dilakukan menggunakan uji Durbin-Watson maupun dengan *Run Test* dengan bantuan program SPSS. Adapun nilai Durbin-Watson hitung sebagaimana disajikan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Hasil Uji Autokorelasi dengan Metode Durbin-Watson

Model Summary ^b					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,893 ^a	,797	,785	4963449,745	1,365

a. Predictors: (Constant), Plesteran (X9), Pasangan Batu (X8)

b. Dependent Variable: Biaya Total (Y)

Uji Durbin-Watson digunakan untuk mendeteksi autokorelasi dalam model regresi dengan kriteria sebagai berikut:

1. Apabila $d_u < d < 4 - d_u$, maka model dinyatakan bebas autokorelasi;
2. Apabila $d < d_l$ atau $d > d_u$, maka terdapat autokorelasi;
3. Apabila $d_l < d < d_u$ atau $4 - d_u < d < 4 - d_l$, maka pengujian tidak dapat menghasilkan kesimpulan yang pasti.

Pada penelitian ini diperoleh nilai Durbin-Watson hitung (d) sebesar 1,365 sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.17. Berdasarkan jumlah data sebanyak 37 dan dua variabel bebas, nilai d_l dan d_u dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Nilai Durbin-Watson Tabel

n	K=2	
	d_l	d_u
35	1,3433	1,5838
36	1,3537	1,5872
37	1,3635	1,5904
38	1,3730	1,5937
39	1,3821	1,5969

Nilai d hitung berada di antara d_l dan d_u yaitu $1,3635 < 1,365 < 1,5904$, sehingga pengujian dengan metode Durbin-Watson tidak dapat memberikan kesimpulan yang pasti. Oleh karena itu, dilakukan pengujian lanjutan menggunakan metode nonparametrik *Run Test* untuk memperoleh hasil yang lebih akurat. Pada metode ini, data dinyatakan bebas dari gejala autokorelasi apabila nilai signifikansi $> 0,05$. Hasil uji *Run Test* dengan bantuan program SPSS disajikan pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Hasil Metode Nonparametrik *Run Test*

Runs Test	
	Unstandardized Residual
Test Value ^a	321565,0089
Cases < Test Value	18
Cases ≥ Test Value	19
Total Cases	37
Number of Runs	15
Z	-1,330
Asymp. Sig. (2-tailed)	,183

a. Median

Berdasarkan tabel di atas diperoleh nilai signifikansi sebesar $0,183 > 0,05$, sehingga residual bersifat acak dan dapat disimpulkan tidak terdapat gejala autokorelasi.

4.4.5 Analisis Regresi Linier

Setelah seluruh data memenuhi uji asumsi klasik, tahap berikutnya adalah melakukan analisis regresi linier berganda untuk mengetahui pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat. Perhitungan persamaan regresi dilakukan menggunakan program SPSS dan hasilnya disajikan pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Hasil Analisis Regresi Linier

Coefficients ^a					
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	35161210,75	13170618,82		,012
	Pasangan Batu (X8)	796912,012	69172,299	,905	,000
	Plesteran (X9)	79672,028	27154,353	,231	,006

a. Dependent Variable: Biaya Total (Y)

Berdasarkan Tabel 4.20 diperoleh persamaan regresi linier sebagai berikut:

$$\hat{Y} = 35.161.210,75 + 796912,012X_8 + 79.672,028X_9 \dots\dots\dots(4.2)$$

Dengan:

$\hat{Y}$ = Estimasi biaya total (Rp)

X_8 = Dimensi pasangan batu (m^3)

X_9 = Dimensi plesteran (m^2)

Persamaan regresi tersebut menunjukkan bahwa biaya total proyek dapat diprediksi berdasarkan volume pasangan batu dan luas plesteran. Nilai konstanta sebesar Rp35.161.210,75 merepresentasikan biaya tetap yang dikeluarkan pada setiap pelaksanaan proyek talud sungai. Setiap penambahan 1 m^3 pasangan batu meningkatkan biaya total sebesar Rp796.912,012, sedangkan setiap tambahan 1 m^2 plesteran menambah biaya total sebesar Rp79.672,028.

Setelah analisis regresi dilakukan, langkah selanjutnya adalah melihat keluaran *Model Summary* untuk mengetahui kekuatan hubungan dan kemampuan model dalam menjelaskan variabel terikat. Tujuannya adalah menilai seberapa kuat hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat sekaligus mengukur proporsi variasi yang dapat dijelaskan oleh model. Perhitungan dilakukan menggunakan program SPSS, di mana koefisien korelasi ditunjukkan oleh nilai R, sedangkan koefisien determinasi ditunjukkan oleh nilai *Adjusted R Square* sebagaimana pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 *Model Summary*

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,893 ^a	,797	,785	4963449,745

a. Predictors: (Constant), Plesteran (X9), Pasangan Batu (X8)

Berdasarkan Tabel 4.21 di atas, nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,893 menunjukkan adanya hubungan yang sangat kuat dan positif antara variabel independen dengan variabel dependen, yang berarti setiap peningkatan pada variabel independen cenderung diikuti peningkatan pada variabel dependen. Sementara itu, koefisien determinasi (R^2) yang diambil dari nilai *Adjusted R Square* sebesar 0,785 mengindikasikan bahwa 78,5% variasi pada variabel dependen dapat dijelaskan oleh model regresi yang dibangun, sedangkan sisanya sebesar 21,5% dipengaruhi oleh faktor lain di luar model. Dengan demikian, model regresi ini memiliki kemampuan prediksi yang tinggi dan layak digunakan untuk menjelaskan hubungan antarvariabel dalam penelitian.

4.4.6 Uji t Parsial

Uji t parsial merupakan pengujian statistik yang digunakan untuk mengetahui pengaruh masing-masing variabel bebas secara individu terhadap variabel terikat dalam model regresi. Tujuannya adalah memastikan apakah setiap variabel bebas memiliki kontribusi yang signifikan terhadap model. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai t_{hitung} dengan t_{tabel} pada taraf signifikansi tertentu; apabila t_{hitung} lebih besar dari t_{tabel} , maka variabel bebas berpengaruh signifikan. Model yang baik ditandai oleh variabel bebas yang relevan dan signifikan dalam menjelaskan variabel terikat.

Berdasarkan Tabel 4.20, diperoleh nilai t_{hitung} untuk variabel Pasangan Batu (X8) sebesar 11,521 dengan signifikansi 0,000, serta nilai t_{hitung} untuk variabel Plesteran (X9) sebesar 2,934 dengan signifikansi 0,006. Nilai t_{hitung} tersebut selanjutnya dibandingkan dengan nilai t_{tabel} . Dengan derajat kebebasan $df = n - k - 1 = 37 - 2 - 1 = 34$ dan taraf signifikansi 0,05, diperoleh nilai t_{tabel} sebesar 1,69092. Hasil pengujian menunjukkan bahwa untuk variabel Pasangan Batu (X8), nilai $t_{hitung} = 11,521 > t_{tabel} = 1,69092$ dan untuk variabel Plesteran (X9), nilai $t_{hitung} = 2,934 >$

$t_{\text{tabel}} = 1,69092$. Dengan demikian, masing-masing variabel bebas terbukti berpengaruh signifikan terhadap Biaya Total (Y).

4.4.7 Uji F

Uji F merupakan pengujian statistik yang digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel bebas secara simultan terhadap variabel terikat dalam model regresi. Tujuannya adalah menilai kelayakan model secara keseluruhan, apakah variabel bebas yang digunakan mampu secara bersama-sama menjelaskan variasi pada variabel terikat. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai F_{hitung} dengan F_{tabel} pada taraf signifikansi tertentu; apabila $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$, maka model regresi dinyatakan signifikan. Model yang baik ditandai oleh hasil uji F yang signifikan, sehingga variabel bebas secara bersama-sama berpengaruh terhadap variabel terikat. Hasil uji F menggunakan SPSS ditampilkan pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Uji F

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3,288E+15	2	1,644E+15	66,723	,000 ^b
	Residual	8,376E+14	34	2,464E+13		
	Total	4,125E+15	36			

a. Dependent Variable: Biaya Total (Y)

b. Predictors: (Constant), Plesteran (X9), Pasangan Batu (X8)

Berdasarkan output uji F diperoleh nilai F_{hitung} sebesar 66,723 dengan taraf signifikansi 0,000. Nilai F_{tabel} ditentukan dengan derajat kebebasan pembilang ($df_1=k=2$) dan penyebut ($df_2=n-k-1=37-2-1=34$), sehingga diperoleh $F_{\text{tabel}}=3,28$. Karena $F_{\text{hitung}}=66,723 > F_{\text{tabel}}=3,28$, maka dapat disimpulkan bahwa variabel bebas secara simultan berpengaruh signifikan terhadap variabel terikat. Berdasarkan seluruh hasil pengujian yang telah dilakukan, persamaan regresi pada rumus (4.2) ditetapkan sebagai *Cost Significant Model* dalam penelitian ini.

4.5 Bentuk Estimasi Biaya dengan ANN

Tujuan dari tahap ini adalah untuk membangun model prediksi biaya konstruksi talud sungai menggunakan metode ANN. Proses pelatihan ANN dilakukan secara berurutan, dimulai dari tahap normalisasi data, penentuan arsitektur jaringan, hingga proses *training* menggunakan perangkat lunak MATLAB dengan fasilitas *neural network toolbox (nntool)*. Pada tahap akhir, hasil prediksi biaya dari model ANN akan diperoleh, kemudian dievaluasi dan dibandingkan dengan hasil estimasi menggunakan metode CSM.

4.5.1 Persiapan Data

Sebelum melakukan normalisasi data sebagai *input* pelatihan, perlu dilakukan pemeriksaan untuk melihat adanya variabel yang memiliki nilai konstan (*constant features*), yaitu variabel dengan nilai yang sama pada seluruh data. Variabel konstan menunjukkan nilai seragam atau tunggal pada setiap observasi dalam *dataset* dan tidak memberikan informasi yang berguna bagi model pembelajaran mesin (*machine learning*) dalam memprediksi target (Garg, 2021). Oleh karena itu, fitur yang tidak relevan sebaiknya dihapus sebelum menerapkan metode *machine learning* guna menghindari perhitungan yang tidak perlu serta meningkatkan akurasi algoritma (Afshar & Usefi, 2022).

Berdasarkan Tabel 4.9 dan Tabel 4.9, variabel yang memiliki nilai konstan adalah item pekerjaan dengan dimensi satuan *lumpsum* (ls), yang bernilai tetap 1 pada seluruh paket pekerjaan. Item tersebut meliputi Mobilisasi Alat (X3), Papan Nama Kegiatan (X4), K3 (X5), serta Dokumentasi dan *As-built Drawing* (X12). Setelah item pekerjaan tersebut dikeluarkan, variabel yang digunakan dalam pelatihan ANN pada penelitian ini ditetapkan sebagaimana pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Variabel yang Digunakan dalam Pelatihan ANN

No.	X1	X2	X6	X7	X8	X9	X10	X11	Y
1	94,70	54,00	63,00	34,80	156,60	288,84	288,84	87,00	187.781.658,51
2	74,88	24,96	74,88	24,96	162,63	240,13	240,13	26,42	186.139.416,21
3	126,20	30,00	64,80	0,00	164,25	204,30	204,30	67,40	186.139.257,51
4	134,70	40,00	67,05	0,00	166,14	184,76	184,76	55,79	186.139.247,89
5	134,00	56,18	80,40	32,16	176,88	227,80	227,80	47,60	186.139.034,02
6	54,00	54,00	69,12	23,04	166,32	216,00	216,00	0,00	184.657.941,77
7	68,60	36,30	105,03	42,14	156,80	210,70	210,70	68,60	183.780.379,60
8	142,00	142,00	64,96	31,31	163,30	227,20	227,20	49,70	183.308.427,38

No.	X1	X2	X6	X7	X8	X9	X10	X11	Y
9	94,80	32,00	58,80	58,70	158,90	256,20	256,20	57,00	180.478.437,39
10	100,90	46,00	65,28	65,28	157,08	209,10	209,10	42,00	179.701.805,47
11	92,80	34,00	122,46	0,00	153,79	247,78	247,78	33,67	178.679.463,48
12	10,00	10,00	87,08	87,08	156,20	198,00	198,00	38,50	176.704.785,77
13	10,00	10,00	66,56	16,34	153,92	203,43	203,43	32,40	176.704.377,00
14	174,90	18,72	75,08	0,00	156,00	221,00	221,00	58,50	175.782.636,91
15	0,00	25,76	43,68	43,68	156,00	265,20	265,20	46,80	174.817.518,16
16	104,35	40,00	61,44	0,00	147,84	196,80	196,80	71,89	170.329.425,76
17	53,60	54,00	65,17	34,58	144,97	220,78	220,78	53,20	165.012.490,56
18	208,00	208,00	101,92	33,97	102,96	291,20	291,20	62,40	139.343.000,90
19	125,75	48,00	57,54	19,18	156,87	260,30	260,30	55,60	181.232.991,90
20	102,50	23,36	85,41	54,75	157,68	248,20	248,20	58,40	178.479.211,17
21	74,94	0,00	101,48	13,28	160,48	200,60	200,60	47,20	177.567.719,45
22	54,00	69,46	102,60	0,00	156,60	259,20	259,20	0,00	176.655.609,10
23	177,40	66,00	59,40	59,40	148,50	268,95	268,95	66,80	176.411.423,08
24	118,00	118,00	75,52	75,52	160,48	200,60	200,60	47,40	176.281.516,91
25	135,80	17,55	103,79	75,95	149,38	198,85	198,85	77,60	174.274.273,84
26	128,10	17,55	95,75	31,92	151,89	187,58	187,58	73,20	174.221.682,55
27	70,00	29,00	66,15	0,00	155,25	229,50	229,50	51,80	172.079.361,47
28	95,18	33,61	79,72	53,63	154,44	243,10	243,10	57,20	165.386.954,62
29	102,85	38,00	48,30	16,10	143,18	233,45	233,45	46,80	164.748.458,50
30	42,50	20,40	85,00	28,33	156,40	144,50	144,50	25,50	163.678.588,47
31	101,25	42,00	52,08	17,36	141,36	199,95	199,95	38,00	160.340.111,19
32	104,08	24,91	74,20	26,50	124,82	185,50	185,50	37,10	141.827.952,34
33	171,64	30,78	88,96	29,65	147,73	224,36	224,36	98,08	178.186.416,38
34	102,00	51,00	110,78	110,78	148,92	209,10	209,10	51,00	178.185.953,70
35	117,00	58,50	103,15	103,15	147,42	225,81	225,81	58,50	178.185.630,43
36	156,60	72,00	63,42	63,42	154,02	245,08	245,08	61,20	178.185.629,16
37	259,20	50,00	77,97	81,90	145,34	240,50	240,50	78,00	177.406.982,81
min	0,00	0,00	43,68	0,00	102,96	144,50	144,50	0,00	139.343.000,90
max	259,20	208,00	122,46	110,78	176,88	291,20	291,20	98,08	187.781.658,51

Dengan:

X1 = Pembersihan & *striping* (m²)

X2 = Pemasangan profil melintang (m)

X6 = Galian tanah (m³)

X7 = Timbunan kembali (m³)

X8 = Pasangan batu (m³)

X9 = Plesteran (m²)

X10 = Acian (m²)

X11 = Pipa suling-suling (m)

Y = Total biaya (Rp)

4.5.2 Normalisasi Data

Normalisasi bertujuan menyetarakan skala variabel *input* dan *output* agar berada pada rentang seragam, sehingga memudahkan ANN dalam proses pembelajaran. Proses ini penting karena fungsi aktivasi Sigmoid/LOGSIG bekerja optimal pada nilai 0-1. Tanpa normalisasi, perbedaan skala antar variabel dapat mengganggu kestabilan pelatihan dan menurunkan akurasi prediksi.

Dalam penelitian ini digunakan metode Min-Max modifikasi dengan rentang 0,1-0,9. Pemilihan metode ini dilakukan agar nilai hasil normalisasi tidak jatuh tepat pada batas ekstrem fungsi aktivasi (0 dan 1), yang berpotensi menyebabkan saturasi pada neuron dan memperlambat konvergensi jaringan. Dengan kata lain, rentang 0,1-0,9 memberikan ruang yang lebih aman bagi ANN dalam memproses data. Rumus normalisasi Min-Max modifikasi adalah sebagai berikut:

$$x' = 0,8 \cdot \frac{(x - x_{min})}{(x_{max} - x_{min})} + 0,1 \dots \dots \dots (4.3)$$

Apabila *output* hasil ANN telah diperoleh, langkah terakhir adalah melakukan denormalisasi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$x = x_{min} + \frac{(x' - 0,1)}{0,8} \cdot (x_{max} - x_{min}) \dots \dots \dots (4.4)$$

Dengan:

x = nilai asli,

x' = nilai hasil normalisasi,

x_{min} = nilai minimum variabel pada data *training*,

x_{max} = nilai maksimum variabel pada data *training*.

Sebagai contoh, pada Tabel 4.23 luas pekerjaan pembersihan & *striping* pada Paket 1 sebesar 94,70m², dengan x_{min}=0,00m² dan x_{max}=259,20m². Maka hasil normalisasi dapat dihitung sebagai berikut:

$$x' = 0,8x \frac{(94,70-0)}{(259,20-0)} + 0,1 = 0,3923 \dots \dots \dots (4.5)$$

Sehingga nilai 94,70m² akan dinormalisasi menjadi 0,3923 dalam tabel data *input* ANN. Perhitungan normalisasi untuk variabel lainnya disajikan pada Tabel 4.24, Tabel 4.25, dan Tabel 4.26 yang telah ditranspos mengikuti format *input* pada MATLAB.

Tabel 4.24 Data *Input* ANN

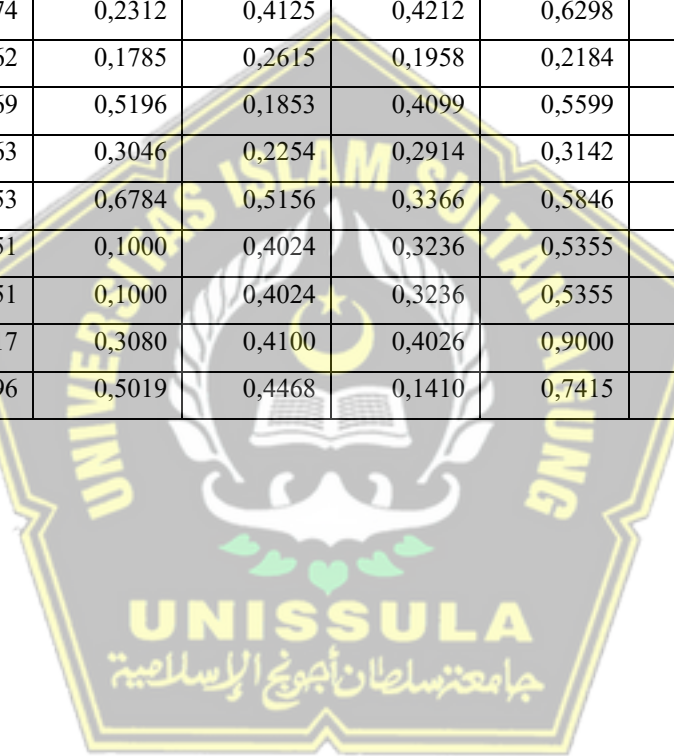
Variabel	Paket 1	Paket 2	Paket 3	Paket 4	Paket 5	Paket 6	Paket 7	Paket 8	Paket 9	Paket 10	Paket 11	Paket 12	Paket 13
X'1	0,3923	0,3311	0,4895	0,5157	0,5136	0,2667	0,3117	0,5383	0,3926	0,4114	0,3864	0,1309	0,1309
X'2	0,3077	0,1960	0,2154	0,2538	0,3161	0,3077	0,2396	0,6462	0,2231	0,2769	0,2308	0,1385	0,1385
X'6	0,2962	0,4168	0,3145	0,3373	0,4729	0,3583	0,7230	0,3161	0,2535	0,3193	0,9000	0,5407	0,3323
X'7	0,3513	0,2802	0,1000	0,1000	0,3322	0,2664	0,4043	0,3261	0,5239	0,5714	0,1000	0,7288	0,2180
X'8	0,6805	0,7458	0,7633	0,7838	0,9000	0,7857	0,6827	0,7530	0,7054	0,6857	0,6501	0,6762	0,6515
X'9	0,8871	0,6215	0,4261	0,3196	0,5543	0,4899	0,4610	0,5510	0,7091	0,4523	0,6632	0,3918	0,4214
X'10	0,8871	0,6215	0,4261	0,3196	0,5543	0,4899	0,4610	0,5510	0,7091	0,4523	0,6632	0,3918	0,4214
X'11	0,8096	0,3155	0,6498	0,5551	0,4883	0,1000	0,6595	0,5054	0,5649	0,4426	0,3746	0,4140	0,3643
Y'	0,9000	0,8729	0,8729	0,8729	0,8729	0,8484	0,8339	0,8261	0,7794	0,7666	0,7497	0,7171	0,7171

Tabel 4.25 Lanjutan Data *Input* ANN

Variabel	Paket 14	Paket 15	Paket 16	Paket 17	Paket 18	Paket 19	Paket 20	Paket 21	Paket 22	Paket 23	Paket 24	Paket 25	Paket 26
X'1	0,6398	0,1000	0,4221	0,2654	0,7420	0,4881	0,4164	0,3313	0,2667	0,6475	0,4642	0,5191	0,4954
X'2	0,1720	0,1991	0,2538	0,3077	0,9000	0,2846	0,1898	0,1000	0,3672	0,3538	0,5538	0,1675	0,1675
X'6	0,4189	0,1000	0,2804	0,3182	0,6914	0,2407	0,5238	0,6870	0,6983	0,2596	0,4233	0,7104	0,6288
X'7	0,1000	0,4154	0,1000	0,3497	0,3453	0,2385	0,4954	0,1959	0,1000	0,5290	0,6454	0,6485	0,3305
X'8	0,6740	0,6740	0,5857	0,5547	0,1000	0,6834	0,6922	0,7225	0,6805	0,5929	0,7225	0,6024	0,6295
X'9	0,5172	0,7582	0,3852	0,5160	0,9000	0,7315	0,6655	0,4059	0,7255	0,7787	0,4059	0,3964	0,3349
X'10	0,5172	0,7582	0,3852	0,5160	0,9000	0,7315	0,6655	0,4059	0,7255	0,7787	0,4059	0,3964	0,3349
X'11	0,5772	0,4817	0,6864	0,5339	0,6090	0,5535	0,5763	0,4850	0,1000	0,6449	0,4866	0,7330	0,6971
Y'	0,7018	0,6859	0,6118	0,5240	0,1000	0,7918	0,7464	0,7313	0,7162	0,7122	0,7101	0,6769	0,6760

Tabel 4.26 Lanjutan Data *Input* ANN

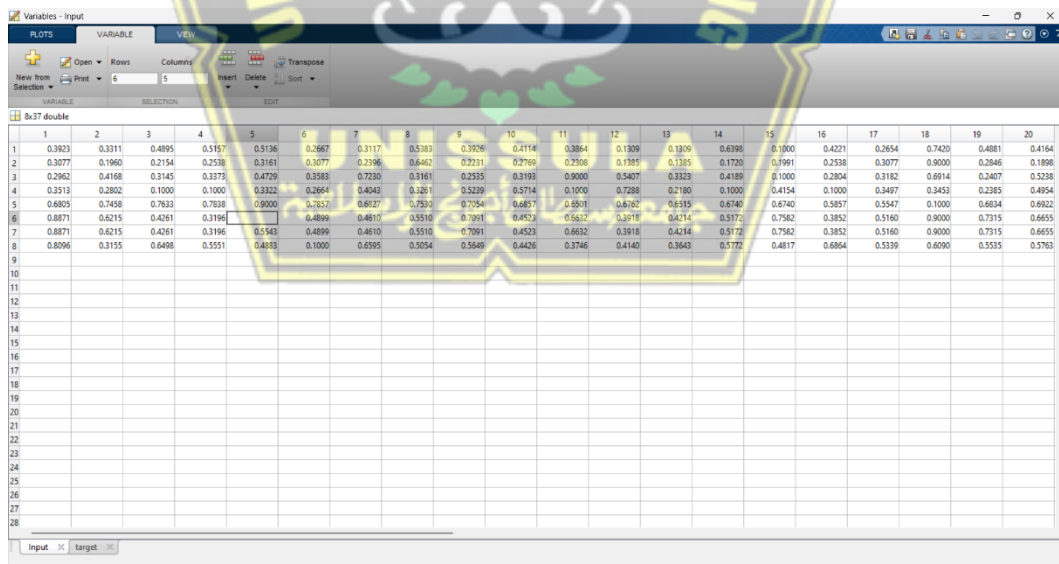
Variabel	Paket 27	Paket 28	Paket 29	Paket 30	Paket 31	Paket 32	Paket 33	Paket 34	Paket 35	Paket 36	Paket 37
X'1	0,3160	0,3938	0,4174	0,2312	0,4125	0,4212	0,6298	0,4148	0,4611	0,5833	0,9000
X'2	0,2115	0,2293	0,2462	0,1785	0,2615	0,1958	0,2184	0,2962	0,3250	0,3769	0,2923
X'6	0,3282	0,4660	0,1469	0,5196	0,1853	0,4099	0,5599	0,7814	0,7039	0,3005	0,4482
X'7	0,1000	0,4873	0,2163	0,3046	0,2254	0,2914	0,3142	0,9000	0,8449	0,5580	0,6914
X'8	0,6659	0,6571	0,5353	0,6784	0,5156	0,3366	0,5846	0,5974	0,5812	0,6526	0,5587
X'9	0,5635	0,6377	0,5851	0,1000	0,4024	0,3236	0,5355	0,4523	0,5434	0,6485	0,6235
X'10	0,5635	0,6377	0,5851	0,1000	0,4024	0,3236	0,5355	0,4523	0,5434	0,6485	0,6235
X'11	0,5225	0,5666	0,4817	0,3080	0,4100	0,4026	0,9000	0,5160	0,5772	0,5992	0,7362
Y'	0,6407	0,5301	0,5196	0,5019	0,4468	0,1410	0,7415	0,7415	0,7415	0,7415	0,7287



4.5.3 Perancangan Arsitektur Jaringan

Arsitektur ANN dalam penelitian ini dirancang dengan tujuan memperoleh konfigurasi yang mampu menghasilkan prediksi biaya konstruksi secara optimal. Proses perancangan dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB melalui fasilitas *neural network toolbox (nntool)*, yang menyediakan kemudahan dalam membangun, melatih, dan mengevaluasi jaringan. Penentuan arsitektur meliputi jumlah layer, jumlah neuron pada setiap layer, jumlah *epochs* dan target *goal*. Karena tidak terdapat aturan baku yang berlaku universal, penentuan parameter-parameter tersebut dilakukan secara *trial and error* dengan mempertimbangkan nilai MSE terkecil pada data pelatihan, sehingga jaringan dapat mempelajari pola hubungan antara *input* dan *output* secara efektif sekaligus menjaga kemampuan generalisasi model.

Langkah pertama adalah memasukkan *input* data dan target data berdasarkan data yang telah disajikan pada Tabel 4.24, Tabel 4.25, dan Tabel 4.26. *Input* data terdiri atas variabel bebas yang telah dinormalisasi, yaitu X'1, X'2, X'6, X'7, X'8, X'9, X'10, dan X'11. Sementara itu, target data merupakan variabel terikat yang juga telah dinormalisasi, yaitu Y'. Seluruh data tersebut dimasukkan ke dalam *workspace* secara terpisah.

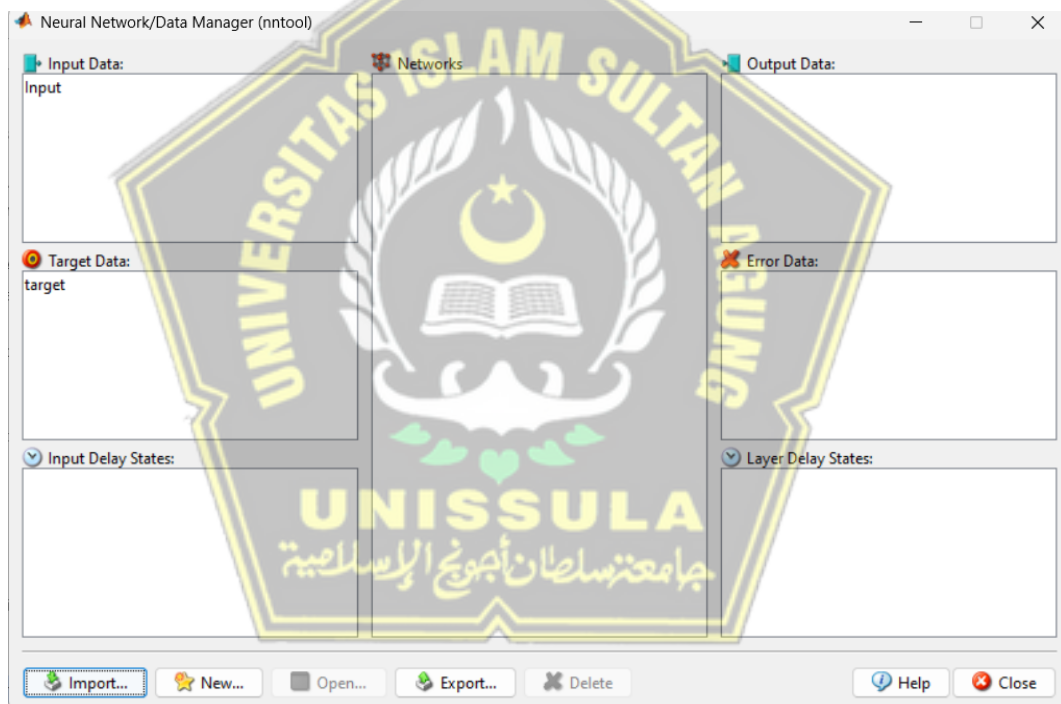


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0.3823	0.3311	0.4895	0.5157	0.5136	0.2667	0.3117	0.5383	0.3926	0.4114	0.3864	0.1309	0.1929	0.6398	0.1000	0.4221	0.2654	0.7420	0.4881	0.4164
2	0.3077	0.1960	0.2154	0.2538	0.3161	0.3077	0.2396	0.6462	0.2231	0.2769	0.2508	0.1395	0.1355	0.1720	0.1991	0.2538	0.3077	0.9000	0.2846	0.1898
3	0.2962	0.4168	0.3145	0.3373	0.4729	0.3583	0.7230	0.3161	0.2535	0.3193	0.9000	0.5407	0.3323	0.4189	0.1000	0.2804	0.3182	0.6914	0.2407	0.5238
4	0.3513	0.2802	0.1000	0.1000	0.3322	0.2664	0.4043	0.3261	0.5239	0.5714	0.1000	0.7288	0.2180	0.1000	0.4154	0.1000	0.3497	0.3453	0.2385	0.4954
5	0.6805	0.7458	0.7833	0.7838	0.9000	0.7657	0.6827	0.7530	0.7054	0.6857	0.6901	0.6162	0.6535	0.6740	0.6740	0.5857	0.5547	0.1000	0.6834	0.6922
6	0.8871	0.6215	0.4261	0.3196		0.4899	0.4610	0.5510	0.7091	0.4533	0.6522	0.3278	0.4214	0.5172	0.7582	0.3852	0.5160	0.9000	0.7315	0.6655
7	0.8871	0.6215	0.4261	0.3196	0.5540	0.4899	0.4610	0.5510	0.7091	0.4533	0.6522	0.3278	0.4214	0.5172	0.7582	0.3852	0.5160	0.9000	0.7315	0.6655
8	0.8096	0.3155	0.6498	0.5551	0.4833	0.1000	0.6595	0.5054	0.5648	0.4426	0.3746	0.4140	0.3643	0.5772	0.4817	0.6864	0.5339	0.6090	0.5535	0.5763
9																				
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
18																				
19																				
20																				
21																				
22																				
23																				
24																				
25																				
26																				
27																				
28																				

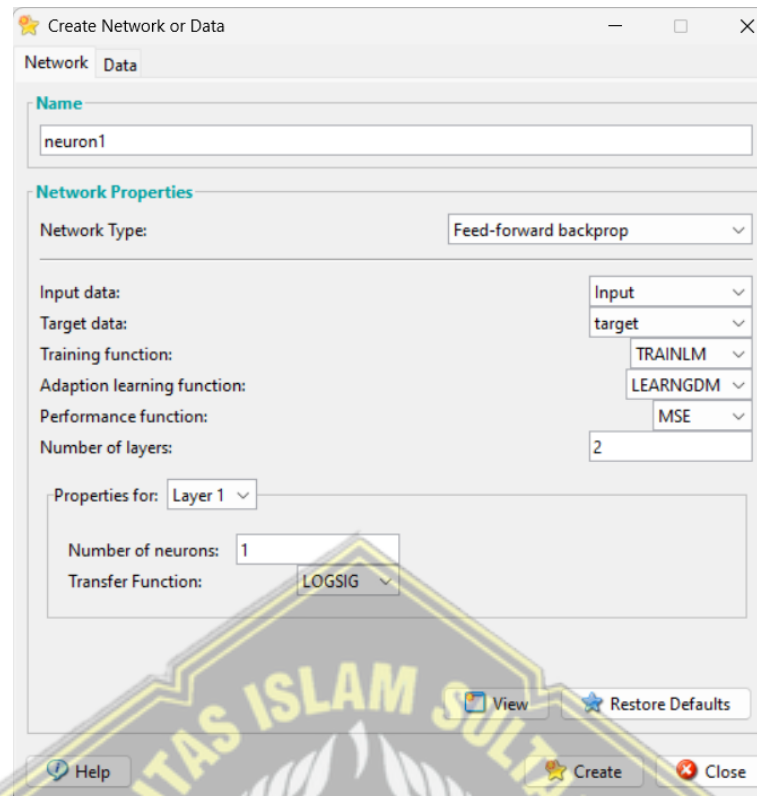
Gambar 4.4 Tampilan *Workspace* untuk Data *Input*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0.9000	0.8729	0.8729	0.8729	0.8729	0.8484	0.8339	0.8261	0.7794	0.7666	0.7497	0.7171	0.7171	0.7018	0.6859	0.6118	0.5240	0.1000	0.7918	0.7464
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
18																				
19																				
20																				
21																				
22																				
23																				
24																				
25																				
26																				
27																				
28																				

Gambar 4.5 Tampilan *Workspace* untuk Data Target



Gambar 4.6 User Interface Neural Network/Data Manager (nntool)



Gambar 4.7 Tampilan untuk Properti Jaringan

Adapun parameter yang digunakan dalam perancangan jaringan sebagaimana pada Gambar 4.7 dapat dirinci sebagai berikut:

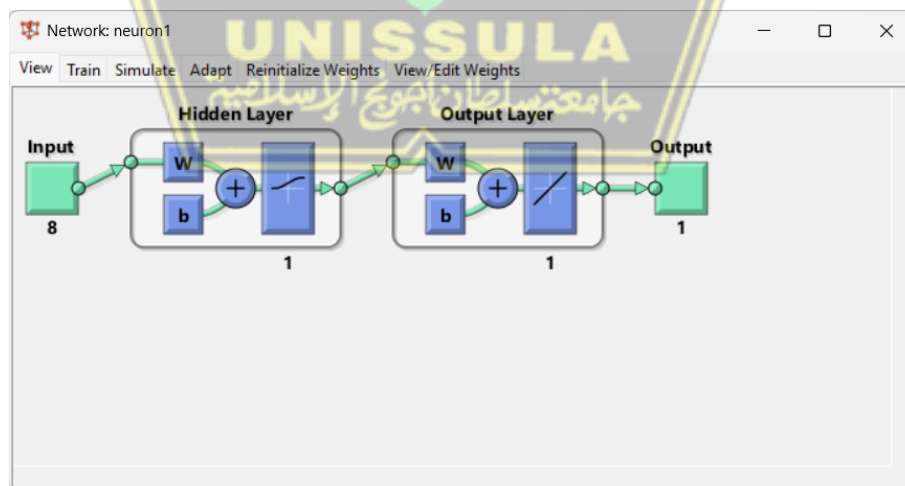
1. *Network Type*: dipilih *Feed-forward backpropagation*, yaitu jenis arsitektur ANN berbasis *backpropagation*.
2. *Input Data*, diisi dengan *input dataset* sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.4
3. *Target Data*, diisi dengan *dataset target* sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.5.
4. *Training Function*: TRAINLM, yaitu fungsi pelatihan *default* yang digunakan.
5. *Adaptation Learning Function*: LEARNGDM, yaitu fungsi *default* yang dipakai dalam proses pembelajaran.
6. *Performance Function*: dipilih MSE, digunakan sebagai fungsi objektif untuk menilai kinerja jaringan selama proses pelatihan.
7. *Number of Layers*: ditetapkan sebanyak dua lapisan, terdiri atas satu *hidden layer* dan satu *output layer*.
8. *Number of Neurons*: jumlah neuron pada *hidden layer* ditentukan melalui proses *trial and error*.

9. *Transfer Function*: dipilih LOGSIG (fungsi transfer sigmoid), digunakan pada neuron dalam *hidden layer*.

Sebelum menjalankan pelatihan, terlebih dahulu ditetapkan beberapa parameter utama. Pertama, jumlah *epoch*, yaitu jumlah maksimum iterasi atau siklus pelatihan; proses pelatihan akan berhenti apabila batas ini tercapai meskipun nilai *error* belum minimum, dengan jumlah umum yang digunakan adalah 1000. Kedua, *goal*, yaitu target kinerja model yang diukur menggunakan *Mean Squared Error (MSE)*; pelatihan dihentikan apabila nilai $MSE \leq goal$, dan untuk data yang telah dinormalisasi nilai 0,001 dianggap memadai. Parameter lainnya mengikuti pengaturan bawaan (*default*).



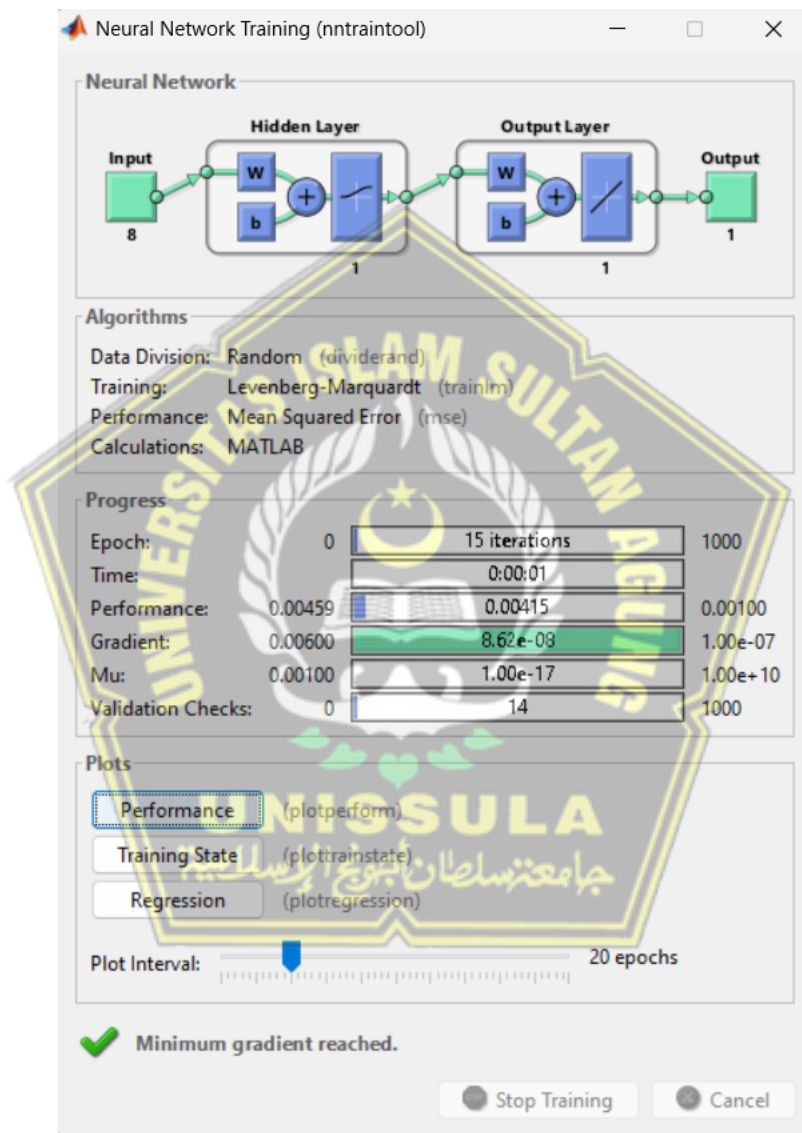
Gambar 4.8 Penentuan Parameter Jaringan



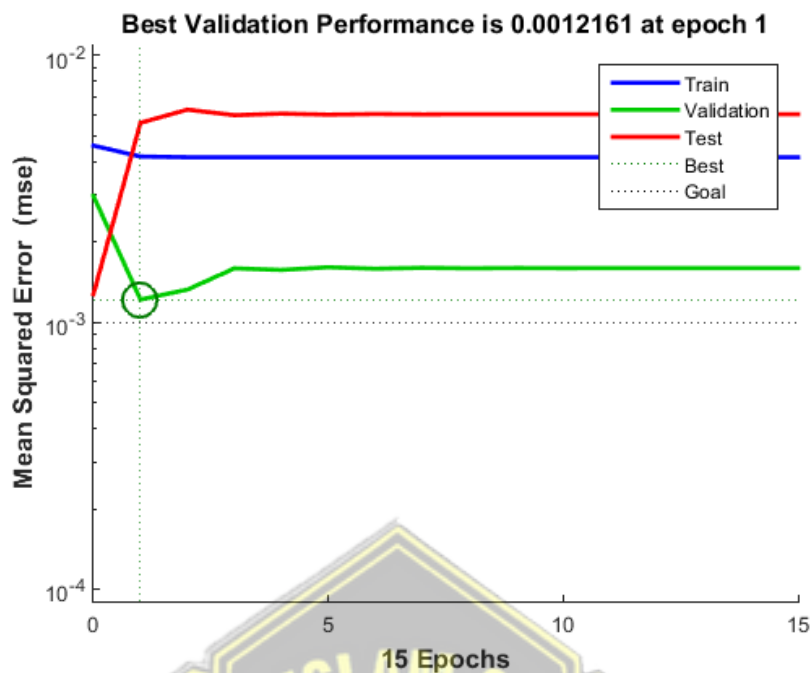
Gambar 4.9 Bentuk Arsitektur Jaringan: 8 *Input*, 1 *Hidden Layer* dengan 1 Neuron, 1 *Output Layer*, dan 1 *Output*

4.5.4 Proses Pelatihan

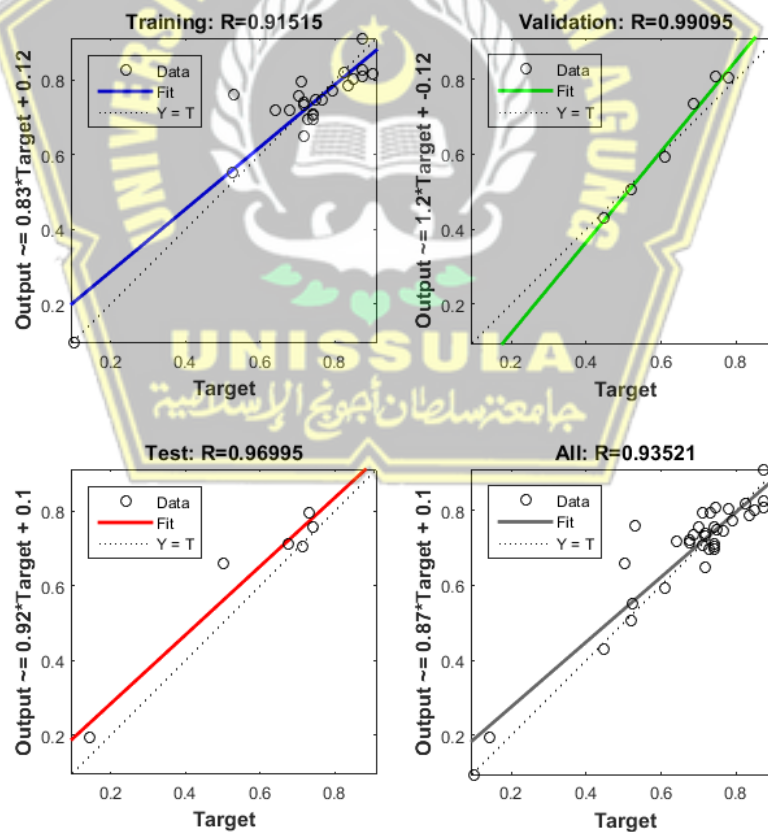
Setelah arsitektur jaringan dirancang, tahap berikutnya adalah melakukan proses pelatihan. Pelatihan dimulai dengan jumlah neuron pada *hidden layer* sebanyak satu, kemudian ditingkatkan secara *trial and error* hingga diperoleh nilai MSE yang paling kecil. Hasil pelatihan dengan satu neuron ditampilkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.10 Hasil Pelatihan ANN dengan 1 Neuron



Gambar 4.11 Kinerja ANN dengan 1 Neuron pada *Hidden Layer*



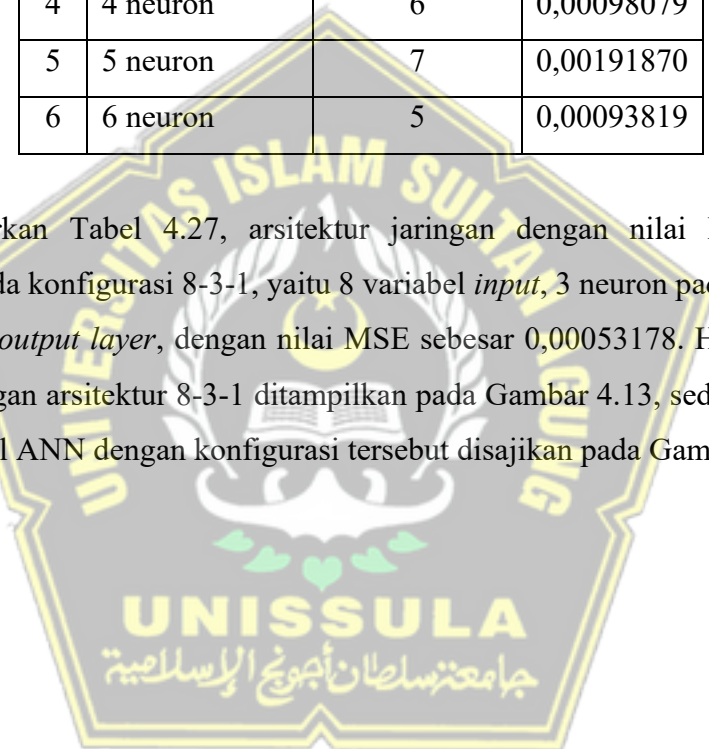
Gambar 4.12 Plot Regresi Antara Nilai Target dengan Nilai Prediksi untuk 1 Neuron pada *Hidden Layer*

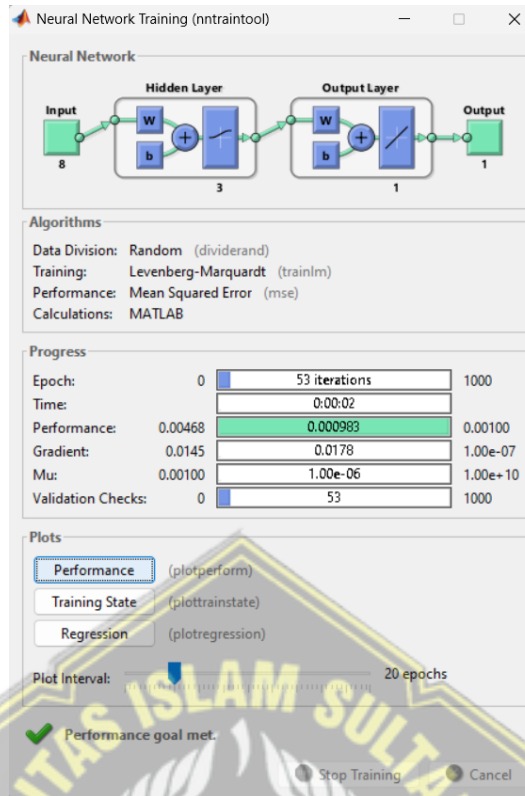
Berdasarkan Gambar 4.10, arsitektur jaringan dengan 1 neuron menghasilkan *epoch* sebanyak 15 iterasi dari total 1000 iterasi. Berdasarkan Gambar 4.11 nilai MSE terbaik sebesar 0,0012161 pada *epoch* 1. Hasil pelatihan dengan jumlah neuron lainnya disajikan pada Tabel 4.27.

Tabel 4.27 Hasil Pelatihan ANN

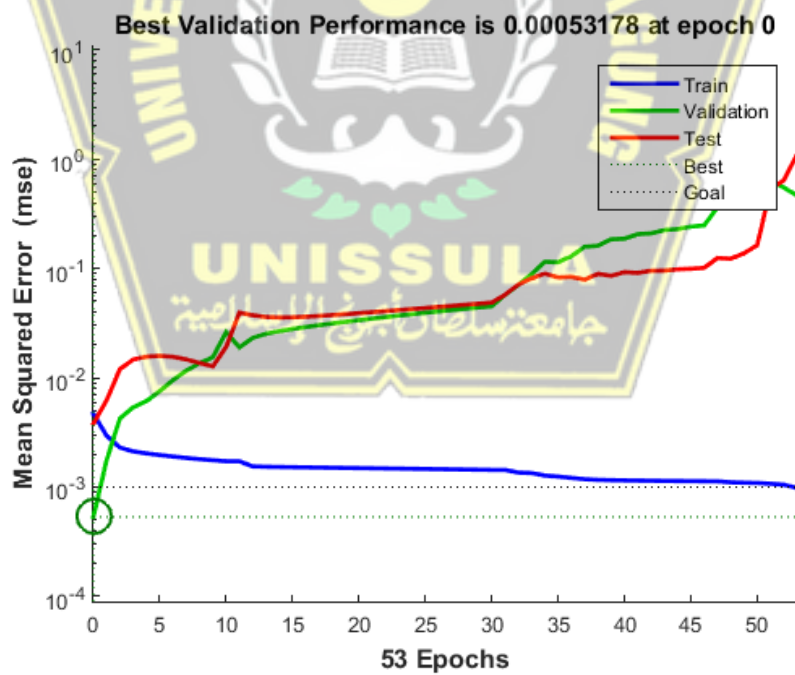
No	Jumlah Neuron	Jumlah Iterasi	Nilai MSE
1	1 neuron	15	0,00121610
2	2 neuron	11	0,00129080
3	3 neuron	53	0,00053178
4	4 neuron	6	0,00098079
5	5 neuron	7	0,00191870
6	6 neuron	5	0,00093819

Berdasarkan Tabel 4.27, arsitektur jaringan dengan nilai MSE terkecil diperoleh pada konfigurasi 8-3-1, yaitu 8 variabel *input*, 3 neuron pada satu *hidden layer*, dan 1 *output layer*, dengan nilai MSE sebesar 0,00053178. Hasil pelatihan jaringan dengan arsitektur 8-3-1 ditampilkan pada Gambar 4.13, sedangkan grafik kinerja model ANN dengan konfigurasi tersebut disajikan pada Gambar 4.14.

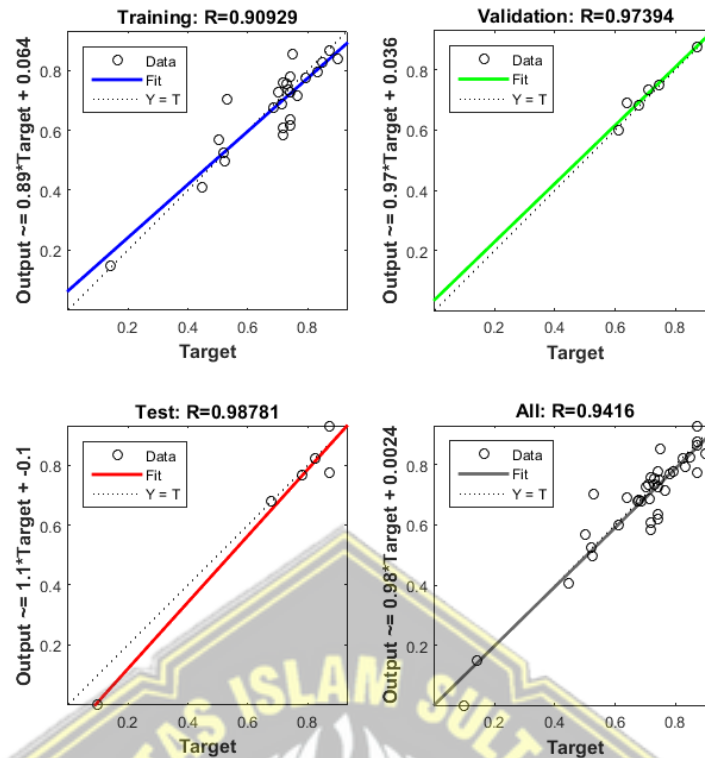




Gambar 4.13 Hasil Pelatihan dengan 3 Neuron

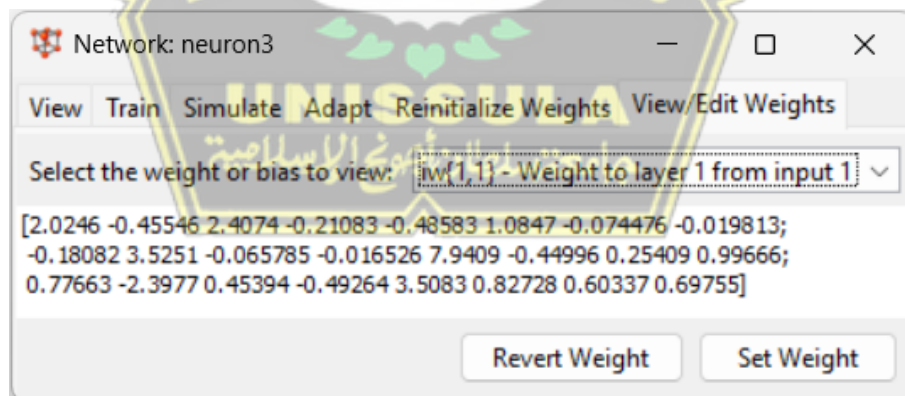


Gambar 4.14 Kinerja ANN dengan 3 Neuron pada *Hidden Layer*

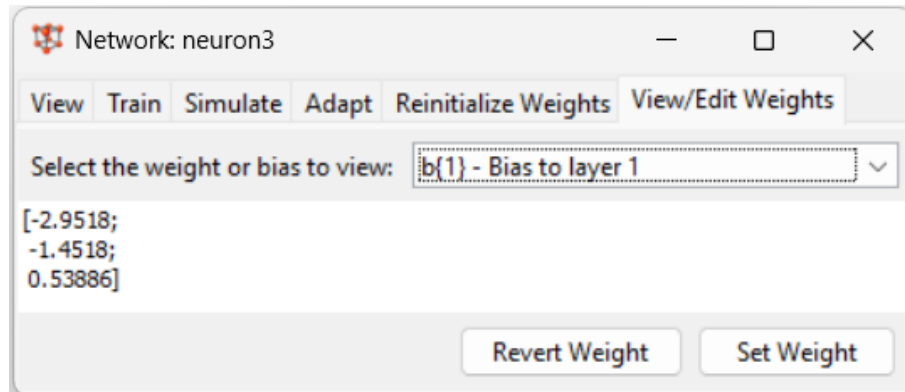


Gambar 4.15 Plot Regresi Antara Nilai Target dengan Nilai Prediksi untuk 3 Neuron pada *Hidden Layer*

Adapun nilai bobot dan bias untuk konfigurasi 3 neuron sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.16, Gambar 4.17, Gambar 4.18, dan Gambar 4.19 berikut:



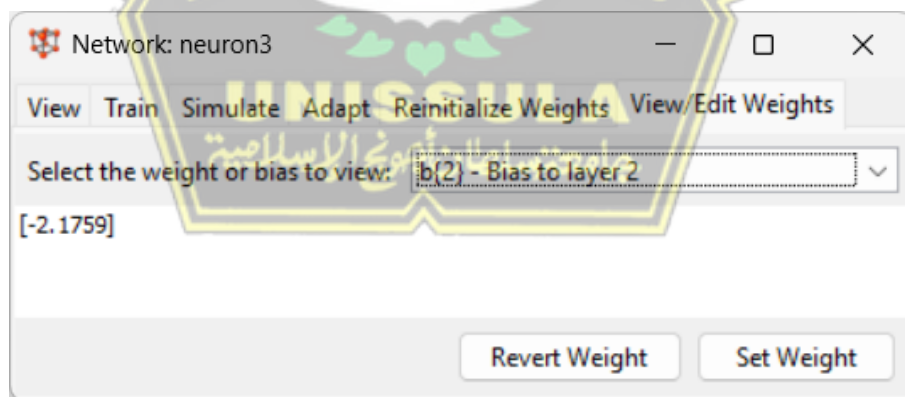
Gambar 4.16 Nilai Bobot Akhir dari *Input Layer* Ke *Hidden Layer*



Gambar 4.17 Nilai Bias Akhir dari *Input Layer* Ke *Hidden Layer*



Gambar 4.18 Nilai Bobot Akhir dari *Hidden Layer* Ke *Output Layer*



Gambar 4.19 Nilai Bias Akhir dari *Hidden Layer* Ke *Output Layer*

4.5.5 Hasil Pelatihan

Setelah proses pelatihan menggunakan perangkat lunak MATLAB melalui fasilitas *neural network toolbox (nntool)* diperoleh arsitektur jaringan 8-3-1 dengan bobot (*weight*) akhir dari *input layer* ke *hidden layer* (v_{ij}) beserta bias (v_{i0}) sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan 4.6 dan Persamaan 4.7. Sementara itu, bobot akhir dari *hidden layer* ke *output layer* (w_{jk}) beserta bias (w_{k0}) ditampilkan pada Persamaan 4.8 dan Persamaan 4.9.

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{13} & v_{14} & v_{15} & v_{16} & v_{17} & v_{18} \\ v_{21} & v_{22} & v_{23} & v_{24} & v_{25} & v_{26} & v_{27} & v_{28} \\ v_{31} & v_{32} & v_{33} & v_{34} & v_{35} & v_{36} & v_{37} & v_{38} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,0246 & -0,45546 & 2,4074 & -0,21083 & -0,48583 & 1,0847 & -0,074476 & -0,019813 \\ -0,18082 & 3,5251 & -0,065785 & -0,016526 & 7,9409 & -0,44996 & 0,25409 & 0,99666 \\ 0,77663 & -2,3977 & 0,45394 & -0,49264 & 3,5083 & 0,82728 & 0,60337 & 0,69755 \end{bmatrix} \dots (4.6)$$

$$V_0 = \begin{bmatrix} v_{10} \\ v_{20} \\ v_{30} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2,9518 \\ -1,4518 \\ 0,53886 \end{bmatrix} \dots (4.7)$$

$$W = [w_{1k} \quad w_{2k} \quad w_{3k}] = [1,2644 \quad 0,83527 \quad 2,3754] \dots (4.8)$$

$$W_0 = [w_{k0}] = [-2,1759] \dots (4.9)$$

Berdasarkan bobot dan bias yang diperoleh pada matriks-matriks di atas, dapat dibentuk persamaan empiris sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan 4.10.

$$\hat{Y} = T_{min} + \left(\frac{y_k - 0,1}{0,8} \right) \cdot (T_{max} - T_{min})$$

$$\hat{Y} = Rp139.343.000,90$$

$$+ (y_k - 0,1)/0,8 \times (Rp187.781.658,51 - Rp139.343.000,90) \dots (4.10)$$

Persamaan di atas merupakan denormalisasi min-maks modifikasi sebagaimana Persamaan 4.4. Nilai T_{min} dan T_{max} merupakan nilai terkecil dan terbesar dari biaya total aktual pada data *training* sebagaimana pada Tabel 4.23. Adapun nilai keluaran/output (y_k) apabila dijabarkan menjadi sebagai berikut,

$$y_k = \left(W_0 + \sum_{i=1}^3 Z_i \cdot W_{jk} \right) = w_{k0} + (w_{1k} \cdot Z_1 + w_{2k} \cdot Z_2 + w_{3k} \cdot Z_3)$$

$$Z_i = f(\sum_{j=1}^8 v_{ij} \cdot X_j + v_{i0}), \text{ dengan } f = \text{fungsi aktivasi (Sigmoid/LOGSIG) maka}$$

$$Z_1 = 1 / ((1 + e^{((-(v_{11} \cdot X'1 + v_{12} \cdot X'2 + v_{13} \cdot X'6 + v_{14} \cdot X'7 + v_{15} \cdot X'8 + v_{16} \cdot X'9 + v_{17} \cdot X'10 + v_{18} \cdot X'11) + v_{10}))}))$$

$$Z_2 = 1 / ((1 + e^{((-(v_{21} \cdot X'1 + v_{22} \cdot X'2 + v_{23} \cdot X'6 + v_{24} \cdot X'7 + v_{25} \cdot X'8 + v_{26} \cdot X'9 + v_{27} \cdot X'10 + v_{28} \cdot X'11) + v_{20}))}))$$

$$Z_3 = 1 / ((1 + e^{((-(v_{31} \cdot X'1 + v_{32} \cdot X'2 + v_{33} \cdot X'6 + v_{34} \cdot X'7 + v_{35} \cdot X'8 + v_{36} \cdot X'9 + v_{37} \cdot X'10 + v_{38} \cdot X'11) + V_{30}))}))$$

4.6 Perbandingan Akurasi CSM dan ANN

Berdasarkan pembahasan sebelumnya, data penelitian ini dibagi menjadi dua kelompok, yaitu data pelatihan (*training data*) dan data pengujian (*testing data*). Evaluasi akurasi model dilakukan dengan menggunakan lima data pengujian (Paket 38 hingga Paket 42) sebagaimana telah disajikan pada Tabel 4.11. Nilai aktual dibandingkan dengan nilai estimasi hasil perhitungan menggunakan dua metode, yaitu CSM dan ANN. Selanjutnya, tingkat akurasi kedua metode dievaluasi menggunakan nilai MAPE untuk mengetahui metode yang lebih akurat.

4.6.1 Estimasi dengan CSM

Biaya estimasi metode CSM dihitung dengan memasukkan dimensi pasangan batu (X8) dan plesteran (X9) ke dalam persamaan 4.2. Berikut contoh perhitungannya:

Paket 38:

- Dimensi pasangan batu (X8) = 148,92 m³
- Dimensi plesteran (X9) = 209,10 m²
- Estimasi biaya total ($\hat{Y}$) = Rp35.161.210,75 + 796.912,012(148,92) + 79.672,028x(209,10) = Rp170.496.768,63

Hasil perhitungan selengkapnya untuk paket yang lainnya disajikan pada Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Rangkuman Estimasi Biaya Total dengan CSM

Paket	Pasangan Batu (X8) (m ³)	Plesteran (X9) (m ²)	Estimasi biaya total ($\hat{Y}$) (Rp)
Paket 38	148,92	209,10	170.496.768,63
Paket 39	146,70	265,69	173.236.264,03
Paket 40	148,80	199,95	169.672.140,13
Paket 41	135,95	244,86	163.009.891,56
Paket 42	126,28	168,10	149.188.127,53

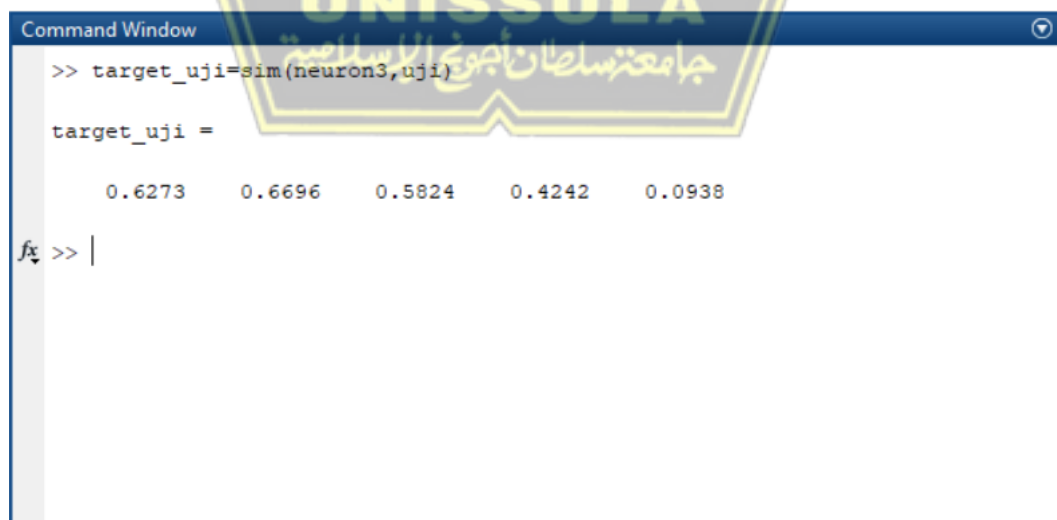
4.6.2 Estimasi dengan ANN

Berdasarkan Tabel 4.4, data pengujian (*testing data*) terlebih dahulu dinormalisasi menggunakan metode min-maks modifikasi sesuai dengan Persamaan 4.3. Hasil normalisasi data pengujian tersebut ditampilkan pada Tabel 4.29.

Tabel 4.29 Data Pengujian yang Telah Dinormalisasi

Variabel	Paket 38	Paket 39	Paket 40	Paket 41	Paket 42
X'1	0,5756	0,7472	0,3870	0,5367	0,3531
X'2	0,2846	0,3538	0,2396	0,2923	0,2350
X'6	0,5213	0,2523	0,5486	0,2377	0,3485
X'7	0,3048	0,5238	0,3115	0,1000	0,2640
X'8	0,5974	0,5734	0,5961	0,4570	0,3524
X'9	0,4523	0,7609	0,4024	0,6473	0,2287
X'10	0,4523	0,7609	0,4024	0,6473	0,2287
X'11	0,4328	0,6383	0,4752	0,1000	0,6351

Selanjutnya dilakukan simulasi dengan menggunakan data *input* pada Tabel 4.29 yang dimasukkan ke dalam jaringan hasil pelatihan ANN berarsitektur 8-3-1. Proses simulasi dijalankan menggunakan perangkat lunak MATLAB pada model ANN yang telah dilatih sebelumnya, sehingga diperoleh data target sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.20.



```

Command Window
>> target_uji=sim(neuron3,uji)

target_uji =

    0.6273    0.6696    0.5824    0.4242    0.0938

fx >> |
  
```

Gambar 4.20 Output dari Data Pengujian

Output hasil simulasi tersebut tidak langsung menggambarkan estimasi biaya total, masih perlu dilakukan denormalisasi agar diperoleh nilai sebenarnya. Proses denormalisasi dilakukan dengan menggunakan rumus sebagaimana telah ditunjukkan pada Persamaan 4.10. Berikut contoh perhitungannya:

Paket 38:

$$\hat{Y} = \text{Rp}139.343.000,90 + ((0,6273 - 0,1)/0,8) \times (\text{Rp}187.781.658,51 - \text{Rp}139.343.000,90) \\ = \text{Rp}171.267.504,45$$

Hasil perhitungan selengkapnya untuk paket yang lainnya disajikan pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30 Rangkuman Estimasi Biaya Total dengan ANN

Paket	Nilai <i>Output</i> (y_k)	Estimasi biaya total ($\hat{Y}$) (Rp)
Paket 38	0,6273	171.267.504,45
Paket 39	0,6696	173.829.352,63
Paket 40	0,5824	168.551.694,87
Paket 41	0,4242	158.973.688,76
Paket 42	0,0938	138.966.514,29

4.6.3 Perbandingan Akurasi Menggunakan MAPE

Berdasarkan penerapan metode CSM dan ANN pada subbab sebelumnya, masing-masing telah menghasilkan estimasi biaya total. Tingkat akurasi kedua metode kemudian dievaluasi menggunakan nilai MAPE yang merupakan rata-rata dari nilai *absolute percentage error* (APE) masing-masing paket pekerjaan. Berikut contoh perhitungannya:

Paket 38 metode CSM:

$$APE = \left| \left(\frac{Y - \hat{Y}}{Y} \right) \times 100\% \right|$$

$$APE = \left| \left(\frac{174.908.732,97 - 170.496.768,63}{174.908.732,97} \right) \times 100\% = 2,52\% \right|$$

Hasil perhitungan selengkapnya untuk paket dan metode yang lainnya disajikan pada Tabel 4.31.

Tabel 4.31 Perhitungan Nilai MAPE

No	Paket	Biaya total aktual (Rp)	Estimasi biaya total dengan CSM (Rp)	Estimasi biaya total dengan ANN (Rp)	APE CSM (%)	APE ANN (%)
1	Paket 38	174.908.732,97	170.496.768,63	171.267.504,45	2,52	2,08
2	Paket 39	173.631.142,12	173.236.264,03	173.829.352,63	0,23	0,11
3	Paket 40	173.530.343,63	169.672.140,13	168.551.694,87	2,22	2,87
4	Paket 41	157.776.718,19	163.009.891,56	158.973.688,76	3,32	0,76
5	Paket 42	148.911.408,90	149.188.127,53	138.966.514,29	0,19	6,68
MAPE					1,70	2,50

Berdasarkan Tabel 4.31, diperoleh nilai MAPE dengan metode CSM sebesar 1,70%, sedangkan metode ANN sebesar 2,50%.

4.7. Perbandingan Konsistensi CSM dan ANN

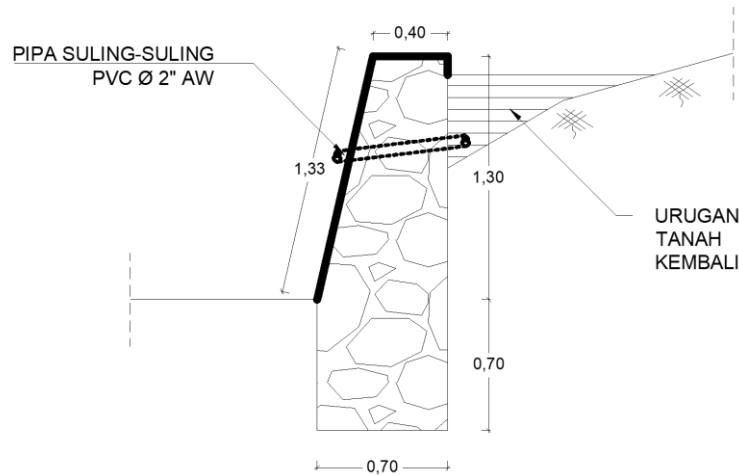
Tujuan pengujian konsistensi adalah membandingkan metode estimasi CSM dan ANN serta mengevaluasi tingkat kesepakatan antara keduanya berdasarkan himpunan data yang diperoleh. Data yang digunakan berupa hasil survei pengukuran lapangan, kemudian dilakukan estimasi biaya total dengan kedua metode tersebut.

Pendekatan awal desain tipikal rencana dimensi pasangan talud didasarkan pada praktik umum yang lazim diterapkan oleh DPUPR Kabupaten Grobogan. Hal tersebut sebagaimana hasil wawancara dengan tim teknis DPUPR Kabupaten Grobogan yang menyatakan bahwa ukuran dimensi talud bervariasi sesuai dengan ketinggiannya. Adapun kriteria dimensi tersebut disajikan pada Tabel 4.32.

Tabel 4.32 Tipikal Dimensi Pasangan Talud

a (m)	b (m)	c (m)	d (m)	Tipikal
1,00-1,25	0,40	0,50-0,60	0,50-0,60	
1,25-1,50	0,40	0,60-0,70	0,60-0,70	
1,50-1,75	0,40	0,70-0,80	0,70-0,80	
1,75-2,00	0,40	0,80-1,00	0,80-1,00	

(DPUPR Kabupaten Grobogan, 2025)



Gambar 4.21 Contoh Desain Pasangan Talud Sungai Nangkluk Kec. Gubug Tahun 2025 (DPUPR Kabupaten Grobogan, 2025)

Hasil data survei pengukuran dari Tabel 4.7 kemudian ditentukan dimensi pasangan talud berdasarkan Tabel 4.32, maka ditetapkan dimensi rencana pasangan talud pada setiap lokasi hasil survei sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.33.

Tabel 4.33 Dimensi Rencana Pasangan Talud pada Lokasi Hasil Survei

Lokasi	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)	panjang/L (m)
Lokasi 1	1,50	0,40	0,70	0,70	120,00
Lokasi 2	1,80	0,40	0,90	0,90	80,00
Lokasi 3	1,90	0,40	1,00	1,00	60,00
Lokasi 4	1,50	0,40	0,70	0,70	100,00
Lokasi 5	1,20	0,40	0,60	0,60	200,00
Lokasi 6	2,00	0,40	1,00	1,00	70,00
Lokasi 7	1,80	0,40	0,90	0,90	80,00

Dimensi item pekerjaan yang digunakan sebagai variabel bebas dalam penelitian ini ditetapkan berdasarkan sejumlah asumsi perhitungan sebagai berikut:

- Pembersihan dan *striping* (X1): dihitung dari lebar koperan (d) dikalikan panjang talud (L).
- Pemasangan profil melintang (X2): dihitung setara keliling penampang melintang talud, yaitu $(a)+(b)+(c)+(d)$ dan dipasang tiap jarak 10 meter.
- Galian tanah (X6): ditentukan dari kedalaman koperan (c) dikalikan lebar koperan (d) kemudian dikalikan panjang talud (L).

- Timbunan kembali (X7): diasumsikan sebesar sepertiga dari volume galian tanah.
- Pasangan batu (X8): dihitung dari luas penampang pasangan talud dikalikan panjang pasangan (L).
- Plesteran (X9): dihitung dari sisi miring ditambah bagian atas (b) serta tambahan 10 cm kemudian dikalikan panjang pasangan (L).
- Acian (X10): sama dengan pekerjaan plesteran.
- Pipa suling-suling (X11): dipasang setiap jarak 2 meter dengan panjang masing-masing 1 meter.

Maka, berdasarkan asumsi perhitungan tersebut, diperoleh dimensi setiap item pekerjaan yang digunakan sebagai variabel bebas. Nilai masing-masing variabel untuk setiap lokasi survei ditampilkan pada Tabel 4.34.



Tabel 4.34 Dimensi Item Pekerjaan Untuk Lokasi Hasil Survei

Lokasi	Pembersihan & Striping X1 (m ²)	Pemasangan Profil Melintang X2 (m)	Galian Tanah X6 (m ³)	Timbunan Kembali X7 (m ³)	Pasangan Batu X8 (m ³)	Plesteran X9 (m ²)	Acian X10 (m ²)	Pipa Suling- Suling X11 (m)
Lokasi 1	84,00	42,90	58,80	19,60	157,80	246,29	246,29	60,00
Lokasi 2	72,00	35,55	64,80	21,60	155,80	183,61	183,61	40,00
Lokasi 3	60,00	30,10	60,00	20,00	139,80	146,50	146,50	30,00
Lokasi 4	70,00	36,30	49,00	16,33	131,50	205,24	205,24	50,00
Lokasi 5	120,00	58,80	72,00	24,00	192,00	352,98	352,98	100,00
Lokasi 6	70,00	35,20	70,00	23,33	168,00	177,77	177,77	35,00
Lokasi 7	72,00	36,00	64,80	21,60	158,40	187,51	187,51	40,00

4.7.1 Penerapan Estimasi dengan CSM

Dalam penerapan metode CSM pada penelitian ini digunakan dua variabel, yaitu pasangan batu (X8) dan plesteran (X9). Kedua variabel tersebut kemudian dimasukkan ke dalam Persamaan 4.2 untuk memperoleh nilai estimasi biaya. Berikut contoh perhitungannya:

Lokasi 1:

- Dimensi pasangan batu (X8) = $157,80 \text{ m}^3$
- Dimensi plesteran (X9) = $246,29 \text{ m}^2$
- Estimasi biaya total ($\hat{Y}$) = $\text{Rp}35.161.210,75 + 796.912,012(157,80) + 79.672,028x(246,29) = \text{Rp}180.536.357,70$

Hasil perhitungan selengkapnya untuk lokasi yang lainnya disajikan pada Tabel 4.35.

Tabel 4.35 Rangkuman Hasil Perhitungan dengan CSM

Lokasi	Pasangan Batu (X8) (m^3)	Plesteran (X9) (m^2)	Estimasi biaya total ($\hat{Y}$) (Rp)
Lokasi 1	157,80	246,29	180.536.357,70
Lokasi 2	155,80	183,61	173.948.729,85
Lokasi 3	139,80	146,50	158.241.376,64
Lokasi 4	131,50	205,24	156.307.166,54
Lokasi 5	192,00	352,98	216.291.125,80
Lokasi 6	168,00	177,77	183.205.928,06
Lokasi 7	158,40	187,51	176.331.591,44

4.7.2 Penerapan Estimasi dengan ANN

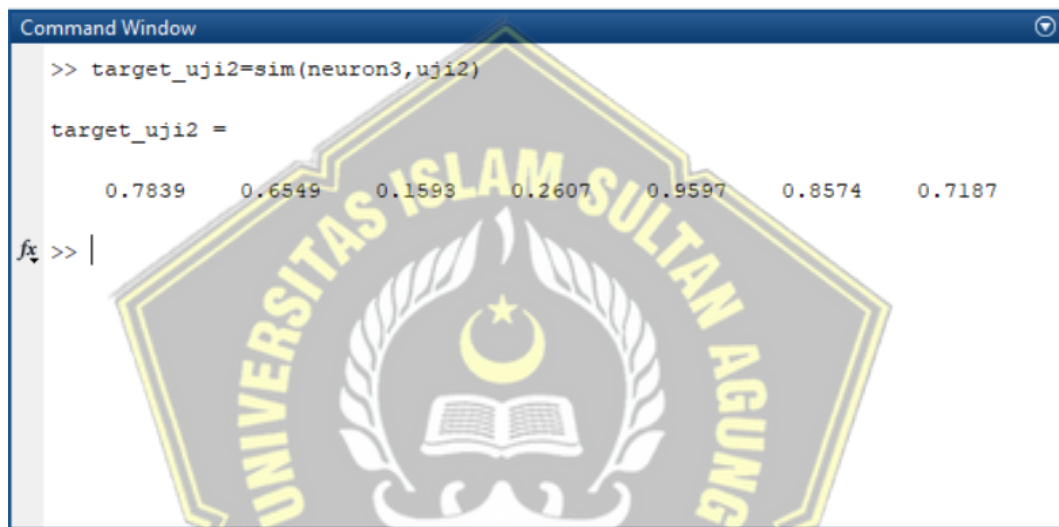
Berdasarkan Tabel 4.34, item pekerjaan hasil survei terlebih dahulu dinormalisasi dengan metode min-maks modifikasi sesuai Persamaan 4.3. Hasil normalisasi item pekerjaan tersebut disajikan pada Tabel 4.36.

Tabel 4.36 Nilai Item Pekerjaan yang Telah Dinormalisasi

Variabel	Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 3	Lokasi 4	Lokasi 5	Lokasi 6	Lokasi 7
X'1	0,3593	0,3222	0,2852	0,3160	0,4704	0,3160	0,3222
X'2	0,2650	0,2367	0,2158	0,2396	0,3262	0,2354	0,2385
X'6	0,2535	0,3145	0,2657	0,1540	0,3876	0,3673	0,3145
X'7	0,2415	0,2560	0,2444	0,2180	0,2733	0,2685	0,2560
X'8	0,6935	0,6719	0,4987	0,4089	1,0636	0,8039	0,7000

Variabel	Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 3	Lokasi 4	Lokasi 5	Lokasi 6	Lokasi 7
X'9	0,6551	0,3133	0,1109	0,4312	1,2369	0,2814	0,3346
X'10	0,6551	0,3133	0,1109	0,4312	1,2369	0,2814	0,3346
X'11	0,5894	0,4263	0,3447	0,5078	0,9157	0,3855	0,4263

Simulasi selanjutnya dilakukan dengan menggunakan data *input* pada Tabel 4.36 yang dimasukkan ke dalam jaringan ANN hasil pelatihan dengan arsitektur 8-3-1. Proses ini dijalankan melalui perangkat lunak MATLAB pada model ANN yang telah dilatih, sehingga menghasilkan data target sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.22.



```

Command Window
>> target_uji2=sim(neuron3,uji2)

target_uji2 =

    0.7839    0.6549    0.1593    0.2607    0.9597    0.8574    0.7187

fx >> |

```

Gambar 4.22 *Output* dari Item Pekerjaan yang Telah Dinormalisasi

Berdasarkan Gambar 4.22, *output* yang diperoleh selanjutnya didenormalisasi menggunakan Persamaan 4.10. Adapun contoh perhitungannya adalah sebagai berikut:

Lokasi 1:

$$\hat{Y} = \text{Rp}139.343.000,90 + ((0,7839 - 0,1)/0,8) \times (\text{Rp}187.781.658,51 - \text{Rp}139.343.000,90) = \text{Rp}165.846.067,05$$

Hasil perhitungan selengkapnya untuk paket yang lainnya disajikan pada Tabel 4.37.

Tabel 4.37 Rangkuman Hasil Perhitungan dengan ANN

Lokasi	Nilai <i>Output</i> (y_k)	Estimasi biaya total ($\hat{Y}$) (Rp)
Lokasi 1	0,7839	165.846.067,05
Lokasi 2	0,6548	160.841.677,27
Lokasi 3	0,1593	141.642.039,77
Lokasi 4	0,2608	145.572.485,39
Lokasi 5	0,9597	172.657.877,64
Lokasi 6	0,8574	168.692.915,38
Lokasi 7	0,7187	163.317.993,91

4.7.3 Perbandingan Konsistensi Menggunakan *Bland-Altman Plot*

Penilaian konsistensi kedua metode dilakukan dengan menggunakan Bland-Altman Plot. Langkah pertama dalam analisis ini adalah menghitung selisih antara hasil estimasi kedua metode. Contoh perhitungannya disajikan sebagai berikut:

Lokasi 1:

$$d_1 = \hat{Y}_{CSM1} - \hat{Y}_{ANN1} = 180.536.357,70 - 165.846.067,05 = 14.690.290,65$$

Selanjutnya menghitung rata-rata antara hasil estimasi kedua metode.

$$m_1 = \frac{\hat{Y}_{CSM1} + \hat{Y}_{ANN1}}{2} = \frac{180.536.357,70 + 165.846.067,05}{2} = 173.191.212,37$$

Hasil selisih dan rata-rata kedua metode untuk lokasi yang lainnya disajikan sebagaimana Tabel 4.38

Tabel 4.38 Hasil Perhitungan Nilai Selisih dan Rata-Rata CSM dan ANN

Lokasi	Estimasi CSM (Rp)	Estimasi ANN (Rp)	Selisih (Rp)	Rata-Rata (Rp)
Lokasi 1	180.536.357,70	165.846.067,05	14.690.290,65	173.191.212,37
Lokasi 2	173.948.729,85	160.841.677,27	13.107.052,58	167.395.203,56
Lokasi 3	158.241.376,64	141.642.039,77	16.599.336,87	149.941.708,21
Lokasi 4	156.307.166,54	145.572.485,39	10.734.681,15	150.939.825,96
Lokasi 5	216.291.125,80	172.657.877,64	43.633.248,16	194.474.501,72
Lokasi 6	183.205.928,06	168.692.915,38	14.513.012,68	175.949421,72
Lokasi 7	176.331.591,44	163.317.993,91	13.013.597,52	169.824.792,68
			$\bar{d} = 18.041.602,80$	
			$SD = 11.428.884,54$	

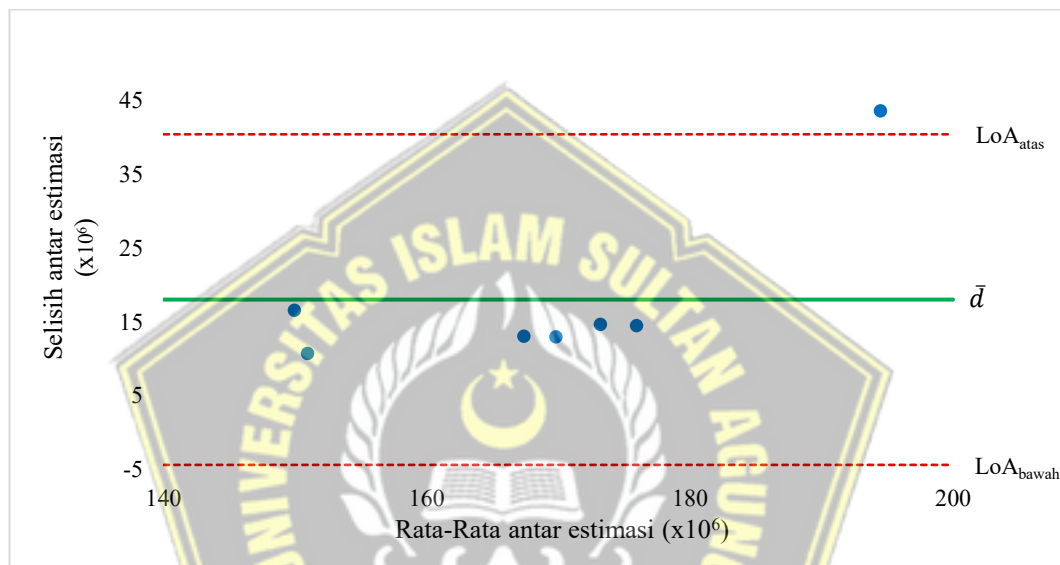
Berdasarkan Tabel 4.38 diperoleh nilai rata-rata ($\bar{d}$) selisih estimasi sebesar Rp18.041.602,80 dengan simpangan baku (SD) Rp11.428.884,54. Tahap selanjutnya adalah menghitung batas kesepakatan (*Limits of Agreement/LoA*) dengan menggunakan nilai tersebut, sebagaimana perhitungan berikut:

$$LoA = \bar{d} \pm 1,96 \times SD$$

$$LoA_{atas} = 18.041.602,80 + 1,96 \times 11.428.884,54 = 40.442.216,51$$

$$LoA_{bawah} = 18.041.602,80 - 1,96 \times 11.428.884,54 = -4.359.010,91$$

Selanjutnya dibuat grafik *scatter plot* sebagai berikut:



Gambar 4.23 Grafik *Scatter Plot* Hasil Perhitungan Metode *Bland-Altman Plot*

Hasil analisis *Bland-Altman* menunjukkan adanya bias sebesar Rp18.041.602,80, yang menandakan metode ANN secara konsisten menghasilkan estimasi yang lebih rendah dibandingkan metode CSM. Standar deviasi selisih sebesar Rp11.428.884,54 memperlihatkan variasi yang cukup besar, dengan batas kesepakatan (*LoA*) antara -Rp4.359.010,91 hingga Rp40.442.216,51. Dari tujuh data yang dianalisis, enam berada dalam batas kesepakatan, sedangkan satu data (data ke-5) berada di luar batas atas *LoA*. Ketidaksesuaian pada data ke-5 ini disebabkan oleh nilai variabel terikat yang melampaui rentang maksimal dari data *training*. Pada proses normalisasi min-maks modifikasi, nilai *input* yang berada di luar rentang tersebut tidak dapat diproyeksikan secara proporsional, sehingga hasil prediksi ANN menjadi terbatas dalam kisaran data *training* dan menimbulkan selisih yang jauh lebih besar.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai perbandingan metode CSM dan ANN dalam estimasi biaya konstruksi talud sungai di Kabupaten Grobogan, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Hasil analisis dengan metode CSM menunjukkan bahwa item pekerjaan yang paling signifikan terhadap total biaya konstruksi talud sungai di Kabupaten Grobogan adalah item pekerjaan Pasangan Batu (X8) dan Plesteran (X9). Kedua komponen tersebut secara kumulatif menyumbang lebih dari 80% dari total biaya proyek.
2. Model estimasi biaya dengan CSM dibangun melalui analisis regresi linier berganda dengan variabel hasil identifikasi komponen biaya utama yang paling signifikan, sedangkan ANN dikembangkan menggunakan algoritma *backpropagation* dengan normalisasi min-maks modifikasi serta arsitektur jaringan 8-3-1 (8 variabel *input*, 3 neuron pada satu *hidden layer*, dan 1 *output layer*). Kedua model menghasilkan bentuk estimasi yang mampu memprediksi total biaya konstruksi secara kuantitatif, namun menunjukkan karakteristik berbeda dalam tingkat keakuratan dan konsistensinya.
3. Berdasarkan nilai MAPE, metode CSM lebih akurat dengan nilai 1,70%, dibandingkan metode ANN yang menghasilkan nilai 2,50%. Dari sisi konsistensi, CSM juga lebih unggul karena model regresi linier bersifat terbuka: nilai estimasi mampu menghasilkan prediksi di luar rentang data pelatihan (*data training*), sehingga lebih fleksibel dalam menyesuaikan kondisi aktual. Sebaliknya, ANN yang menggunakan normalisasi *min-max scaling* cenderung membatasi nilai estimasi hanya dalam rentang data pelatihan. Kondisi ini menyebabkan ANN kurang adaptif ketika menghadapi variasi data yang berada di luar rentang pelatihan.

5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mencoba metode normalisasi lain pada ANN, seperti *z-score standardization* atau *robust scaling*, sehingga model lebih adaptif terhadap distribusi data yang bervariasi dan tidak terbatas pada rentang min-maks.
2. Perluasan penelitian dengan membandingkan metode komputasi cerdas lainnya, seperti *Fuzzy Logic*, *Support Vector Regression* (SVR), atau *Random Forest Regression*, dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kinerja berbagai pendekatan estimasi biaya.
3. Pengembangan model *hybrid*, misalnya mengombinasikan CSM dengan ANN, dapat menjadi alternatif untuk menghasilkan model estimasi yang lebih akurat dan andal.
4. Penambahan jumlah data historis proyek dengan variasi rentang biaya total akan meningkatkan reliabilitas model ANN sekaligus memperkuat generalisasi hasil estimasi.



DAFTAR PUSTAKA

- Afshar, M., & Usefi, H. (2022). Optimizing feature selection methods by removing irrelevant features using sparse least squares. *Expert Systems with Applications*, 200(August), 116928. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.116928>
- Ahmad, M., Al Mehedi, M. A., Yazdan, M. M. S., & Kumar, R. (2022). Development of Machine Learning Flood Model Using Artificial Neural Network (ANN) at Var River. *Liquids*, 2(3), 147–160. <https://doi.org/10.3390/liquids2030010>
- Akbar, M. F., Handayani, T. N., & Saputra, A. (2024). Pemodelan Artificial Neural Network untuk Estimasi Biaya Proyek Peningkatan Jalan Aspal dengan Variabel Bebas Dimensi Item Pekerjaan. *Simposium Nasional Teknologi Infrastruktur, September*, 1–7.
- Amin, A. Al, Apriliano, D. D., & Imron. (2025). Penerapan Building Information Modelling (BIM) Untuk Estimasi Biaya Pekerjaan Struktur Bangunan Rumah Tinggal 1 Lantai di Daerah Halim Jakarta Timur. *JALAKOTEK: Journal of Accounting Law Communication and Technology*, 2(1), 9–16. <https://doi.org/10.57235/jalakotek.v2i1.3351>
- Aprianti, E., Hamzah, S., & Abdurrahman, M. A. (2021). The Analysis of Cost Estimation using Cost Significant Model on Bridge Construction in South Sulawesi. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/921/1/012073>
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik*.
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (1999). Measuring agreement in method comparison studies. *Statistical Methods in Medical Research*, 8(2), 135–160. <https://doi.org/10.1177/096228029900800204>
- Dastres, R., & Soori, M. (2021). Artificial Neural Network Systems. *International Journal of Imaging and Robotics (IJIR)*, 21(2), 13–25. <https://hal.science/hal-03349542v1>
- DATAtab Team. (2025). *Bland-Altman plot*. <https://datatab.net/tutorial/bland-altman-plot>
- Dewanti, R., Aminullah, A., & Priyosulistyo, H. (2021). Estimasi Biaya Struktur

- Gedung Rumah Sakit dengan Bentuk Persegi Panjang Menggunakan Metode Artificial Neural Network. *Journal of Civil Engineering and Planning*, 2(2), 139. <https://doi.org/10.37253/jcep.v2i2.5351>
- Etikan, I., Musa, S. A., & Alkassim, R. S. (2016). Comparison of Convenience Sampling and Purposive Sampling. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.11648/j.ajtas.20160501.11>
- Garg, S. (2021). *Dropping Constant Features using VarianceThreshold: Feature Selection -I*. <https://medium.com/nerd-for-tech/removing-constant-variables-feature-selection-463e2d6a30d9>
- Hidayat, M., Pratama, M. D. A., & Nugroho, N. S. (2022). Estimasi Biaya Rehabilitasi Berat pada Bangunan Sekolah Menggunakan Metode Cost Significant Model. *Jurnal Teslink: Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 4(2), 181–194. <https://doi.org/10.52005/teslink.v4i2.135>
- Holm, L., & Schaufelberger, J. E. (2021). *Construction Cost Estimating*. Routledge. <https://doi.org/10.1201/9781003023494>
- Ighneiwa, I., Hamidatou, S., & Ben Ismael, F. (2017). Using Artificial Neural Networks (ANN) to Control Chaos. *Libyan Journal for Engineering Research*, 1(1), 46–49. <https://doi.org/10.37376/lyjer.v1i1.374>
- Ilallah, A. F., & Waskito, J. P. H. (2020). Penerapan Metode Cost Significant Model Pada Estimasi Biaya Pembangunan Kantor Pelayanan Masyarakat Di Kota Surabaya. *Axial, Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, 8(2), 139–148. <https://doi.org/10.30742/axial.v8i2.1035>
- Item, R., Passambuna, B., & Rumitra, M. (2024). Perencanaan Talud Sungai Pengendali Banjir Di Kelurahan Otomona, Kabupaten Mimika. *Jurnal Teknik AMATA*, 5(1), 51–55.
- Jin, O. F., & Surya, K. P. (2024). Pemodelan Estimasi Biaya Konseptual Proyek Gedung Sekolah dengan Menggunakan Artificial Neural Network. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 5(2).
- Johari, G. J., & Almuhsy, M. R. (2024). Penerapan Metode Cost Significant Model pada Estimasi Biaya Pembangunan Peningkatan Jalan. *Jurnal Konstruksi*, 22(1), 1–12. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.21-2.1427>
- Juliastuti, Y., Wijayanti, Y., Fajar, M., & Anda, M. (2024). Hydraulic Modeling-Based Design of Retaining Wall Height for Flood Mitigation. *Journal of Engineering and Sustainable Development*, 28(6), 710–716.

<https://doi.org/10.31272/jeasd.28.6.3>

- Kartikasari, A. (2025). Studi Kasus Perbandingan Estimasi Biaya dengan Analisis Parametrik dan Bottom-Up Pada Pembangunan Gedung. *Journal of Mandalika Literature*, 6(2), 388–394.
- Khair, U., Fahmi, H., Hakim, S. Al, & Rahim, R. (2017). Forecasting Error Calculation with Mean Absolute Deviation and Mean Absolute Percentage Error. *Journal of Physics: Conference Series*, 930(1), 0–6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/930/1/012002>
- Kwak, S. G., & Kim, J. H. (2017). Central Limit Theorem: The Cornerstone of Modern Statistics. *Korean Journal of Anesthesiology*, 70(2), 144. <https://doi.org/10.4097/kjae.2017.70.2.144>
- Li, M. (2024). Comprehensive Review of Backpropagation Neural Networks. *Academic Journal of Science and Technology*, 9(1), 150–154. <https://doi.org/10.54097/51y16r47>
- M. Mijwil, M. (2021). Artificial Neural Networks Advantages and Disadvantages. *Mesopotamian Journal of Big Data*, 2021, 29–31. <https://doi.org/10.58496/MJBD/2021/006>
- Mahyuddin, Indrawanto, D., Ahmad, S. N., Mukrim, M. I., Jamaluddin, Ulfiyati, Y., Riswal, Prasetyo, R. F., Wiryasuta, I. K. H., Raflis, Lubis, M., Pandarangga, A. P., & Yuwono, B. E. (2024). *Manajemen Konstruksi : Strategi, Praktik, dan Tantangan Terkini*. Yayasan Kita Menulis.
- Paikun, M., & Andrian, C. (2021). Estimasi Konseptual Biaya Pembangunan Drainase Di Wilayah Kota Sukabumi Menggunakan Model. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 25(1), 41–48. <https://doi.org/10.24843/JITS.2021.v25.i01.p05>
- Pemerintah Kabupaten Grobogan. (2022). *Peraturan Bupati Grobogan No. 48 Tahun 2022 Tentang Kajian Risiko Bencana Kabupaten Grobogan Tahun 2022–2027*.
- Poh, P. S. H., & Horner, R. M. W. (1995). Cost-significant modelling - its potential for use in south-east Asia. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2(2), 121–139. <https://doi.org/10.1108/eb021007>
- Pongsagorn, P., Attaphol, B., & Sorasak, S. (2018). Behaviour Of Dry-Retaining Wall. *International Journal of GEOMATE*, 15(47), 186–192. <https://doi.org/10.21660/2018.47.GTE84>
- Reddy Anireddy, A. (2024). Comparative Analysis of Traditional vs. Modern

- Estimating Methods: Pros and Cons of Different Approaches in Construction. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 13(11), 1–5. <https://doi.org/10.21275/SR241023231113>
- Saeidlou, S., & Ghadiminia, N. (2024). A construction cost estimation framework using DNN and validation unit. *Building Research and Information*, 52(1–2), 38–48. <https://doi.org/10.1080/09613218.2023.2196388>
- Satrio, M. R., & Andreas, A. (2021). Conceptual Cost Estimation Of Warehouse Construction. *Jurnal Artesis*, 1(2), 111–116.
- Setiawan, Y., Yelvi, Broto, A. B., Rafli, M. M., Supriyadi, I., & Salimah, A. (2023). Estimating the Cost of Strauss Pile Retaining Wall Works Using the Cost Significant Method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1173(1), 012062. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1173/1/012062>
- Subagijo, D., Sampurna, H., Putra, J., Hirwo, N., & Hasan, D. (2025). Evaluasi Estimasi Biaya Tahap Konseptual pada Proyek Pasar Ikan Modern (IPM) Muara Baru dengan Metode Parametrik. *Indonesian Research Journal on Education*, 5(1), 848–856.
- Tahapari, Y., Nugroho, A. S. B., & Suparma, L. B. (2021). Model Estimasi Biaya Dengan Cost Significant Model Dan Artificial Neural Network Proyek Peningkatan Jalan Aspal Di Yogyakarta. *Jurnal Teknik Sipil*, 16(2), 122–133. <https://doi.org/10.24002/jts.v16i2.4778>
- Tseng, C.-H., & Sim, D. (2020). *Sample Size Planning for Pilot Studies*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2105.05483>
- Walczak, S., & Cerpa, N. (2019). Artificial Neural Networks. *Advanced Methodologies and Technologies in Artificial Intelligence, Computer Simulation, and Human-Computer Interaction*, 40–53. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-7368-5.ch004>
- Windarto, A. P., Nasution, D., Wanto, A., Tambunan, F., Hasibuan, M. S., Siregar, M. N. H., Solikhun, Lubis, M. R., Fadhillah, Y., & Nofriansyah, D. (2020). *Jaringan Saraf Tiruan: Algoritma Prediksi dan Implementasi*. Yayasan Kita Menulis.