

Analisis pengendalian deviasi waktu dan mutu pekerjaan perkuatan struktur gedung lantai 7 di Tangerang melalui *Total Quality Management (TQM)*

Hadian Mukhlisha Irfani^{1,*}, Albani Musyafa¹

¹Jurusan Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Total Quality Management (TQM)
Plan-Do-Check-Action (PDCA)
Quality control
Deflection
Structural strengthening.

Abstract

Structural strengthening projects on existing buildings often experience technical deviations due to differences between design assumptions and actual site conditions. In the structural strengthening project of the 7th floor of a building in Tangerang, key issues included slab deflection, insufficient anchor embedment depth caused by reinforcement obstruction, and misalignment of existing beam geometry relative to design drawings. If not properly managed, these deviations can increase corrective working time and compromise technical quality. This study employed a quantitative descriptive approach using a case study method. Field observations were conducted at 103 deviation points, consisting of 29 slab deflection points, 22 anchor embedment depth deviations, and 52 deviations related to existing beam misalignment. Data were obtained through direct measurements, site documentation, and recording of corrective working time. Descriptive statistics, Pearson correlation, and simple linear regression were applied, followed by the implementation of a Total Quality Management (TQM) strategy using the Plan-Do-Check-Action (PDCA) cycle. The results show strong to very strong correlations between technical deviations and corrective working time. Slab deflection ($r = 0.8635$), anchor embedment depth deviation ($r = 0.92$), and beam misalignment ($r = 0.78$) significantly affected time performance. The TQM-PDCA implementation reduced corrective working time from approximately 270 hours to 200 hours while meeting quality requirements. The application of TQM through the PDCA cycle is demonstrated to be effective in controlling time deviations and maintaining technical quality in structural strengthening projects under non-ideal existing conditions.

Corresponding Author:

Hadian Mukhlisha Irfani
24914008@students.uui.ac.id

Copyright © 2026 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Perkuatan struktur pada gedung bertingkat tinggi merupakan upaya penting untuk mempertahankan kinerja dan keselamatan struktur, khususnya pada bangunan yang mengalami peningkatan beban layanan atau degradasi kapasitas seiring bertambahnya usia. Salah satu metode yang umum diterapkan adalah penambahan elemen baja, seperti profil baja *I-Beam Wide Flange* (IWF), yang berfungsi meningkatkan kapasitas lentur dan kekakuan struktur eksisting. Dalam praktiknya, keberhasilan metode ini tidak hanya ditentukan oleh desain struktural, tetapi

sangat dipengaruhi oleh kondisi aktual struktur beton eksisting sebagai media tumpuan dan sambungan elemen perkuatan.

Pada tahap pelaksanaan, perbedaan antara asumsi desain dan kondisi aktual di lapangan sering menimbulkan deviasi teknis yang berdampak langsung terhadap mutu dan waktu pekerjaan. Kondisi seperti lendutan plat dak eksisting, ketidaksesuaian posisi balok beton terhadap desain, serta hambatan tulangan pada proses pengeboran angkur menyebabkan elemen perkuatan tidak dapat terpasang sesuai rencana. Deviasi tersebut berimplikasi pada perubahan elevasi

pemasangan, ketidaktercapaian kedalaman tanam angkur, serta penurunan efektivitas sambungan struktur, yang pada akhirnya menuntut pekerjaan korektif tambahan.

Permasalahan tersebut secara nyata terjadi pada proyek perkuatan struktur lantai 7 sebuah gedung di Tangerang, khususnya pada pemasangan profil baja IWF 300 yang dihubungkan ke struktur beton eksisting menggunakan chemical anchor. Lendutan plat dak menyebabkan deviasi elevasi titik tumpuan terhadap desain, sementara posisi balok eksisting yang tidak rata, baik cembung maupun cekung, mengakibatkan angkur tidak dapat terpasang pada posisi rencana. Selain itu, keberadaan tulangan eksisting sering menghambat pengeboran sehingga kedalaman tanam angkur tidak mencapai spesifikasi minimum. Kondisi ini memicu berbagai pekerjaan korektif seperti scraping, chipping, penyesuaian posisi elemen, hingga pemotongan ujung angkur dalam batas toleransi tertentu, yang secara kumulatif berdampak pada tambahan waktu pelaksanaan dan berpotensi menurunkan mutu pekerjaan apabila tidak dikendalikan secara sistematis.

Meskipun permasalahan deviasi teknis pada proyek perkuatan struktur telah banyak dilaporkan secara kualitatif dalam praktik konstruksi, kajian yang menganalisis hubungan antara deviasi teknis spesifik—seperti lendutan plat dak, deviasi kedalaman angkur, dan ketidaksesuaian posisi balok eksisting—dengan deviasi waktu dan mutu pekerjaan secara kuantitatif masih relatif terbatas. Selain itu, penerapan pendekatan manajemen mutu berbasis Total Quality Management (TQM) pada tahap pelaksanaan pekerjaan korektif, khususnya dengan kerangka siklus PDCA (Plan–Do–Check–Action), belum banyak dievaluasi secara empiris menggunakan data lapangan dan analisis statistik.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara kuantitatif pengaruh lendutan plat dak, deviasi kedalaman tanam angkur, dan ketidaksesuaian posisi balok eksisting terhadap deviasi waktu dan mutu pekerjaan perkuatan struktur lantai

7 gedung di Tangerang melalui pendekatan statistik deskriptif, korelasi Pearson, dan regresi linier. Penelitian ini juga mengidentifikasi serta mengklasifikasikan jenis deviasi teknis yang terjadi beserta tindakan korektif yang dilakukan, serta mengevaluasi efektivitas penerapan Total Quality Management (TQM) berbasis siklus PDCA dalam menurunkan waktu korektif sekaligus menjaga mutu pekerjaan sesuai kriteria teknis yang ditetapkan. Melalui pendekatan tersebut, diharapkan dapat dirumuskan rekomendasi praktis berbasis data bagi manajemen proyek dan praktisi teknik sipil dalam menangani pekerjaan perkuatan struktur dengan kondisi eksisting yang tidak ideal.

Total Quality Management (TQM)

Konsep mutu dalam industri konstruksi modern tidak lagi dimaknai secara sempit sebagai pemenuhan spesifikasi minimum saja (Pheng & Ke-Wei, 1996., Harrington et al., 2012., Permana et al., 2021).

Melainkan mengacu pada definisi standar ISO 9000 yang menyatakan mutu sebagai “ciri dan karakter menyeluruh dari suatu produk atau jasa yang memengaruhi kemampuannya untuk memenuhi kebutuhan tertentu” (Tiong et al., 2014., Khadim et al., 2023., Lee et al., 2011). Definisi ini menekankan kepuasan pelanggan atau pengguna akhir produk (Permana et al., 2021., Abdullah, 2010., Pheng & Ke-Wei, 1996).

Tujuan utama Quality Management di proyek konstruksi adalah memenuhi persyaratan mutu sejak tahap awal hingga serah terima tanpa *rework*, melalui cara-cara yang efektif dan ekonomis (Love et al., 2004., Wang et al., 2014., Khadim et al., 2023; Reinaldo et al., 2020).

Plan-Do-Check-Action (PDCA)

Plan–Do–Check–Action (PDCA), yang juga dikenal sebagai *Deming cycle* atau *Shewhart cycle*, adalah suatu kerangka kerja iteratif untuk perbaikan berkelanjutan proses dan produk yang menekankan siklus perencanaan, pelaksanaan percobaan atau perubahan, pemeriksaan hasil, dan tindakan korektif atau

standarisasi berdasarkan bukti pembelajaran dari siklus sebelumnya (B, 2014., Nguyen et al., 2023).

Plan-Do-Check-Action (PDCA) ditafsirkan dan diaplikasikan baik sebagai kerangka manajerial untuk perbaikan berkelanjutan dalam praktik industri maupun sebagai model epistemologis untuk peningkatan mutu yang berbasis bukti dan eksperimen terkendali (B, 2014., Nguyen et al., 2023). Rincian tahapan PDCA dan implikasinya:

1. *Plan*, tahap perencanaan menuntut pemahaman peluang atau masalah, identifikasi area penerapan perbaikan, penetapan tujuan yang terukur dan perencanaan intervensi yang jelas; perencanaan yang dirancang untuk mengeliminasi pemborosan dan menambah nilai harus mencakup definisi target dan indikator kinerja sehingga memungkinkan evaluasi efek intervensi (B, 2014., Nguyen et al., 2023).
2. *Do*, Pada tahap ini, rencana diuji melalui implementasi, idealnya dimulai dalam skala kecil atau pilot untuk memungkinkan beberapa iterasi, pengukuran hasil, dan perbaikan cepat, strategi “uji berskala kecil” membantu mengurangi risiko dan biaya eksperimen sambil memberi kesempatan untuk belajar sebelum skala penuh dilaksanakan (Nguyen et al., 2023). Keberhasilan fase *Do* menuntut komitmen tim, kepatuhan pada protokol pengukuran, serta dokumentasi yang memadai untuk mendukung analisis selanjutnya (Nguyen et al., 2023).
3. *Check*, Tahap pemeriksaan melibatkan analisis hasil tindakan terhadap tujuan yang telah ditetapkan, termasuk perbandingan kondisi sebelum dan sesudah serta penggunaan alat bantu analisis misalnya, diagram sebab-akibat / Ishikawa, diagram Pareto, pengukuran KPI) untuk mengidentifikasi kontribusi faktor-faktor perubahan dan menilai kebermaknaan perbaikan secara kuantitatif maupun kualitatif (Gold et al., 2013). Pendekatan pengukuran dan validasi yang sistematis pada fase ini krusial untuk membedakan perubahan yang bermakna

secara statistik atau praktis dari variasi acak.

4. *Action*, Jika hasil menunjukkan perbaikan yang memenuhi kriteria tujuan, tindakan pada fase *Act* meliputi standarisasi praktik baru dan integrasi ke dalam prosedur kerja rutin; jika bukti belum cukup atau kondisi berubah, data tambahan dikumpulkan dan siklus *Plan-Do-Check-Action (PDCA)* diulang; jika intervensi tidak efektif, proyek dapat dihentikan atau dirancang ulang dimulai kembali pada fase *Plan* (Nguyen et al., 2020., B, 2014). Proses standarisasi dan penyebaran pembelajaran merupakan elemen penting agar perbaikan yang berhasil menjadi bagian dari kapabilitas organisasi.

Perkuatan struktur

Perkuatan struktur adalah serangkaian tindakan teknik yang dilakukan pada elemen-elemen bangunan (seperti balok, kolom, atau plat lantai) untuk meningkatkan kapasitas dan kinerja struktur di atas kondisi desain awalnya. Proses ini biasanya diperlukan ketika struktur mengalami penurunan kekuatan akibat retak, korosi tulangan, atau degradasi material seiring waktu, serta ketika terjadi perubahan fungsi atau beban yang melebihi asumsi awal perencanaan (Ridwan, 2018). Perkuatan struktur juga sering dilakukan untuk menyesuaikan dengan perkembangan standar desain, misalnya revisi SNI 2847:2019 yang menetapkan persyaratan momen lentur, geser, dan kekakuan seismik yang lebih tinggi daripada versi sebelumnya (BSN, 2019).

Berbagai metode perkuatan yang umum dipakai meliputi penempelan plat baja (*plate bonding*) untuk menambah momen lentur, pelilitan *Fiber-Reinforced Polymer (FRP)* untuk meningkatkan kapasitas lentur dan menahan korosi tanpa menambah beban mati berlebih (ACI Committee 440, 2017), *concrete jacketing* yang menggabungkan tulangan baru dan pengecoran beton di sekitar elemen lama, serta teknik *post-installed reinforcement* (penanaman ulir rebar) dengan *epoxy anchor* untuk meningkatkan kapasitas geser dan lentur (Santoso & Utomo, 2020).

Tahapan umum pelaksanaan perkuatan dimulai dari inspeksi dan diagnosis kondisi struktur (misalnya dengan *Non-Destructive Testing*), persiapan lokasi dengan mengupas permukaan beton rusak (*chipping*), injeksi grout pada retakan (*grouting*), penambahan tulangan baru (*rebaring*), pemasangan lapisan pelindung atau *screeding*, hingga tahap *finishing*/pelapisan akhir (Ridwan, 2018; ACI Committee 562, 2016).

Secara keseluruhan, perkuatan struktur memberikan manfaat berupa perpanjangan usia layan bangunan, peningkatan keselamatan (*safety*) terutama di daerah rawan gempa, serta memungkinkan adaptasi fungsi tanpa melakukan pembongkaran total (Santoso & Utomo, 2020).

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan metode studi kasus pada pekerjaan perkuatan struktur lantai 7 gedung di Tangerang, sebagaimana dirinci pada tabel 1. Pendekatan ini dipilih karena penelitian difokuskan pada satu proyek spesifik dengan kondisi struktur eksisting yang tidak ideal, sehingga memungkinkan analisis mendalam dan kontekstual terhadap fenomena deviasi teknis yang terjadi selama pelaksanaan perkuatan struktur.

Variabel penelitian terdiri atas variabel bebas (X) dan variabel terikat (Y), sebagaimana ditunjukkan pada tabel 3. Variabel bebas meliputi deviasi lendutan plat dak (X_1), deviasi kedalaman tanam angkur (X_2), dan deviasi posisi balok eksisting (X_3), sedangkan variabel terikat adalah deviasi waktu

pekerjaan korektif (Y_1) dan mutu teknis hasil perkuatan struktur (Y_2). Seluruh variabel bersifat kuantitatif dengan skala pengukuran rasio.

Pengumpulan data dilakukan melalui data primer dan data sekunder sesuai tabel 2. Data primer diperoleh melalui observasi lapangan terukur, pengukuran langsung lendutan, kedalaman angkur, dan posisi balok eksisting, serta wawancara teknis dengan personel proyek. Data sekunder meliputi dokumen proyek, gambar kerja, laporan harian dan mingguan, serta jurnal penelitian dan literatur teknis yang relevan.

Analisis data dilakukan secara bertahap sebagaimana dirangkum pada tabel 4, yang mencakup statistik deskriptif untuk menggambarkan karakteristik data, klasifikasi deviasi teknis, serta analisis korelasi Pearson dan regresi linier sederhana untuk menguji hubungan antara variabel deviasi teknis (X_1 , X_2 , X_3) terhadap deviasi waktu pekerjaan korektif (Y_1). Selanjutnya, dilakukan evaluasi Key Performance Indicator (KPI) mutu teknis berdasarkan toleransi elevasi akhir (≤ 2 mm), kedalaman tanam angkur (≥ 12 cm), dan hasil uji tarik angkur (≥ 15 kN).

Sebagai bagian dari pengendalian mutu, penelitian ini mengevaluasi penerapan *Total Quality Management (TQM)* melalui siklus *Plan-Do-Check-Action (PDCA)* pada tahap pelaksanaan pekerjaan korektif, dengan tujuan menilai efektivitasnya dalam menekan deviasi waktu korektif dan menjaga mutu hasil pekerjaan perkuatan struktur.

Tabel 1. Ruang lingkup penelitian

Aspek	Uraian
Jenis penelitian	Kuantitatif deskriptif
Pendekatan	Studi kasus pada satu proyek perkuatan struktur
Lokasi penelitian	Lantai 7 gedung di Tangerang
Objek penelitian	Pekerjaan perkuatan struktur dengan pemasangan profil baja IWF 300 dan <i>chemical anchor</i> (ankur kimia) pada balok beton eksisting
Elemen yang dikaji	42 batang IWF 300 (36×4 m, 6×8 m) dan 576 titik angkur
Fokus kajian deviasi	Lendutan plat dak, kedalaman tanam <i>chemical anchor</i> (ankur kimia), dan ketidaksesuaian posisi balok eksisting terhadap desain yang menyebabkan angkur tidak dapat terpasang pada posisi rencana, serta dampaknya terhadap waktu & mutu.
Pendekatan mutu	<i>Total Quality Management (TQM)</i> dengan siklus <i>Plan-Do-Check-Action (PDCA)</i> .

Tabel 2. Teknik pengumpulan data dan sampel

Aspek	Uraian
Data primer	Pengukuran lendutan plat, kedalaman angkur, waktu korektif. wawancara singkat, foto lapangan.
Data sekunder	Gambar kerja, laporan harian / mingguan, dokumen proyek, literatur <i>Total Quality Management (TQM)</i> , <i>Plan-Do-Check-Action (PDCA)</i> , perkuatan struktur.
Teknik sampling	Sampel jenuh (sensus) seluruh titik deviasi
Jumlah titik observasi	103 titik (29 titik lendutan plat, 22 titik deviasi kedalaman <i>chemical anchor</i> (angkur kimia), 52 titik posisi balok eksisting).
Lokasi titik pengamatan	Titik-titik tumpuan IWF dan titik <i>chemical anchor</i> (angkur kimia) yang mengalami deviasi pada Gedung lantai 7.
Teknik pengumpulan data	Observasi terukur, pencatatan waktu kerja, wawancara semi terstruktur, studi dokumentasi.

Tabel 3. Variabel penelitian (X_1 , X_2 , X_3 , Y_1 dan Y_2)

Kelompok Variabel	Kode	Nama Variabel	Jenis Data	Skala Pengukuran	Keterangan Penggunaan dalam Analisis
Bebas (Independen)	X_1	Deviasi Lendutan plat dak	Kuantitatif	Rasio	Diukur dalam cm, dianalisis dengan statistik deskriptif, korelasi, dan regresi linier terhadap Y_1 .
Bebas (Independen)	X_2	Deviasi kedalaman angkur	Kuantitatif	Rasio	Diukur dalam cm, digunakan dalam korelasi Pearson dan regresi linier dengan Y_1 .
Bebas (Independen)	X_3	Deviasi posisi balok eksisting	Kuantitatif	Rasio	Diukur dalam cm, dianalisis terhadap Y_1 dengan korelasi dan regresi.
Terikat (Dependen)	Y_1	Deviasi waktu pekerjaan korektif	Kuantitatif	Rasio	Diukur dalam jam/titik; menjadi variabel respon utama dalam regresi linier.
Terikat (Dependen)	Y_2	Mutu teknis hasil perkuatan struktur	Kuantitatif (turunan: proporsi & gaya)	Rasio	Diukur melalui % titik memenuhi kriteria dan nilai gaya tarik (kN), dianalisis dengan perbandingan terhadap target (KPI mutu).

Seluruh variabel X_1 , X_2 , X_3 , dan Y_1 berada pada skala rasio sehingga memenuhi syarat penggunaan analisis *korelasi Pearson* dan regresi linier. Variabel Y_2 dievaluasi melalui indikator mutu berskala rasio (persentase dan gaya tarik), yang dibandingkan dengan target kinerja untuk menilai keberhasilan pengendalian mutu.

Tabel 4. Teknik analisis data

Tahap Analisis	Uraian
Klasifikasi deviasi teknis	Mengelompokkan lendutan (ringan, sedang, berat) dan jenis deviasi angkur serta tindakan korektif.
Korelasi Pearson	Mengukur kekuatan dan arah hubungan linier antara deviasi teknis (X_1 , X_2 , X_3) dan deviasi waktu (Y_1) melalui koefisien korelasi Pearson (r).
Regresi linier sederhana	Menyusun persamaan garis regresi

Tahap Analisis	Uraian
Analisis mutu (KPI)	untuk masing-masing hubungan $X_1 \rightarrow Y_1$, $X_2 \rightarrow Y_1$, $X_3 \rightarrow Y_1$, dan menghi-tung koefisien determinasi (R^2) sebagai ukuran proporsi variansi Y_1 yang dijelaskan X_1 , X_2 , X_3 .
Evaluasi TQM-PDCA	Membandingkan hasil mutu teknis (Y_2) pasca tindakan korektif dengan target pemilik (owner), diantaranya persentase titik sesuai toleransi elevasi 2 mm, persentase angkur ≥ 12 cm, dan nilai uji tarik ≥ 15 kN. Menilai efektivitas penerapan manajemen mutu <i>Total Quality Management (TQM)</i> melalui <i>Plan-Do-Check-Action (PDCA)</i> dalam menurunkan total deviasi waktu (Y_1) dan memastikan mutu teknis (Y_2) tercapai, dengan membandingkan skenario tanpa vs dengan TQM-PDCA.

Hasil Penelitian

Deskripsi umum deviasi teknis

Berdasarkan pengukuran dan observasi dilapangan, diperoleh 103 titik observasi yang seluruhnya mengalami deviasi teknis pada saat pemasangan perkuatan struktur baja *I-Beam Wide Flange* (IWF) 300 dengan *chemical anchor* (angkur kimia). Deviasi

tersebut diklasifikasi ke dalam tiga jenis utama sesuai variabel bebas X_1 , X_2 , dan X_3 . Dalam tabel 5 menunjukkan bahwa deviasi terbesar secara jumlah terjadi pada posisi balok eksisting (X_3), diikuti lendutan plat dak (X_1) dan deviasi kedalaman angkur (X_2). Ketiga jenis deviasi ini selanjutnya dianalisis pengaruhnya terhadap deviasi waktu (Y_1) dan mutu teknis (Y_2).

Tabel 5. Klasifikasi deviasi teknis (X_1 , X_2 , X_3)

No	Jenis Deviasi Teknis	Simbol	Jumlah Titik	Uraian Singkat
1	Lendutan plat dak	X_1	29 titik	Selisih elevasi plat 2–10 cm dari elevasi desain pada titik tumpuan IWF (lendut/defleksi plat dak signifikan).
2	Deviasi kedalaman angkur (tertahan tulangan, kedalaman < 12 cm)	X_2	22 titik	Angkur hanya tertanam 5–9 cm dari target 12 cm (kedalaman angkur tidak tercapai karena terhalang tulangan).
3	Deviasi posisi balok eksisting (angkur tidak dapat terpasang)	X_3	52 titik	Posisi balok meleset/geser dari desain rencana, sehingga angkur rencana “menggantung” dan perlu solusi (misal penambahan plat kupingan, pengeboran ulang).
Total titik deviasi			103 titik	Total deviasi teknis yang teridentifikasi pada pekerjaan perkuatan.

Analisis deskriptif deviasi teknis terhadap deviasi waktu (Y_1) pada lendutan plat dak (X_1)

Lendutan plat dak (X_1) diklasifikasikan ke dalam tiga kategori keparahan. Setiap kategori dikaitkan dengan deviasi waktu pekerjaan korektif (Y_1) dan jenis tindakan

korektif utama. Dalam tabel 6 dijelaskan bahwa Rata-rata deviasi waktu akibat lendutan plat adalah sekitar 3,3 jam per titik, dengan total waktu korektif 100,3 jam. Semakin besar lendutan (X_1), semakin kompleks tindakan korektif dan semakin besar deviasi waktu (Y_1) yang muncul.

Tabel 6. Analisis deskriptif deviasi teknis terhadap deviasi waktu (Y_1) pada lendutan plat dak (X_1)

No	Kategori Lendutan	Rentang Lendutan X_1 (cm)	Jumlah Titik	Waktu Korektif Rata-rata Y_1 (jam/titik)	Total Waktu Korektif (jam)	Tindakan Korektif Utama
1	Ringan	< 4 cm	9 titik	1,5 jam	13,5 jam	<i>Levelling</i> (pengganjalan) dan grout tipis pada area plat
2	Sedang	4–6 cm	12 titik	3,5 jam	42,0 jam	<i>Chipping</i> ringan permukaan balok, pemotongan ujung angkur (<i>trimming</i>) kecil.
3	Berat	> 6 cm	8 titik	5,6 jam	44,8 jam	<i>Chipping</i> beton signifikan, <i>scraping</i> , pengeboran ulang (<i>re-boring</i>), dan injeksi <i>grout</i> ulang.
Total			29 titik		100,3 jam	

Dari Tabel 3 dapat dilihat pola yang jelas bahwa lendutan kategori berat (lebih dari 6 cm) memerlukan tindakan korektif paling

rumit (*chipping* besar, *re-leveling*, dsb.) dengan rata-rata 5,6 jam per titik, sedangkan lendutan ringan (<4 cm) cukup ditangani

dengan leveling ringan dan grouting tipis sekitar 1,5 jam per titik. Kondisi lendutan berat sering kali menyebabkan ketidakcocokan elevasi yang signifikan sehingga perlu perbaikan menyeluruh pada sambungan elemen perkuatan

Analisis deskriptif deviasi teknis terhadap deviasi waktu (Y_1) pada deviasi kedalaman dan posisi angkur (X_2 , X_3)

Deviasi yang berkaitan dengan angkur dibagi menjadi dua kelompok, yaitu deviasi

kedalaman angkur (X_2) dan deviasi posisi balok eksisting/angkur tidak dapat terpasang (X_3). Dari tabel 6 dan 7, apabila seluruh deviasi X_1 , X_2 , dan X_3 ditangani tanpa optimasi metode kerja, total deviasi waktu (Y_1) diperkirakan 100,3 jam (X_1) + 44 jam (X_2) + 130 jam (X_3) = 274,3 jam, yang setara dengan 34 hari kerja (8 jam per hari). Nilai ini melebihi alokasi waktu korektif proyek, yaitu 200 jam (25 hari kerja), sehingga diperlukan pendekatan pengendalian untuk menekan deviasi waktu tersebut.

Tabel 7. Analisis deskriptif deviasi teknis terhadap deviasi waktu (X_1) pada deviasi kedalaman dan posisi angkur (X_2 , X_3)

No	Jenis Deviasi Angkur	Simbol	Jumlah Titik	Waktu Korektif Rata-rata Y_1 (jam/titik)	Total Waktu Korektif (jam)	Tindakan Korektif Utama
1	Kedalaman angkur tidak tercapai (tertahan tulangan, <12 cm).	X_2	22 titik	2,0 jam	44 jam	Potong ujung angkur (5 cm), bor ulang, <i>grout/epoxy</i> ulang hingga kedalaman tercapai.
2	Ketidaksesuaian posisi balok eksisting terhadap desain yang menyebabkan angkur tidak dapat terpasang pada posisi rencana.	X_3	52 titik	2,5 jam	130 jam	Pasang plat kupingan 4×10 cm pada balok, bor ulang pada posisi baru, pasang ulang angkur kimia di lokasi yang disesuaikan.
Total			74 titik		174 jam	

Hubungan deviasi teknis (X_1 , X_2 , X_3) terhadap deviasi waktu (Y_1) dalam analisis korelasi pearson

Untuk menguji kekuatan dan arah hubungan linier antara deviasi teknis (X_1 , X_2 , X_3) dan deviasi waktu (Y_1), digunakan analisis korelasi Pearson. Dalam tabel 8 dijelaskan bahwa Nilai $r > 0,75$ pada seluruh pasangan

menunjukkan bahwa semakin besar deviasi teknis (X_1 , X_2 , X_3), semakin besar deviasi waktu kerja korektif (Y_1). Deviasi kedalaman angkur (X_2) memiliki nilai korelasi tertinggi ($r = 0,92$), namun secara total waktu, lendutan plat (X_1) dan deviasi posisi balok (X_3) juga berkontribusi signifikan karena jumlah titik deviasinya lebih besar.

Tabel 8. Koefisien korelasi pearson antara X_1 , X_2 , X_3 dan Y_1

No	Pasangan Variabel	r (Pearson)	Interpretasi
1	Lendutan plat dak (X_1), dengan waktu korektif (Y_1)	0,8635	Hubungan sangat kuat, positif
2	Deviasi Kedalaman angkur (X_2) dengan Waktu (Y_1)	0,92	Hubungan sangat kuat, positif
3	Deviasi posisi balok (X_3) dengan Waktu (Y_1)	0,78	Hubungan kuat, positif

Hubungan deviasi teknis (X_1 , X_2 , X_3) terhadap deviasi waktu (Y_1) dalam analisis regresi linier sederhana

Untuk memodelkan hubungan fungsional antara deviasi teknis (X) dan deviasi waktu (Y_1), digunakan regresi linier sederhana. Hasil

model regresi dan koefisien determinasi (R^2) disajikan pada tabel 9. Nilai R^2 yang berada pada kisaran 61–85% mengindikasikan bahwa model regresi yang diperoleh mampu menjelaskan mayoritas variasi deviasi waktu (Y_1). Secara praktis, persamaan tersebut dapat digunakan untuk:

1. Memprediksi tambahan waktu korektif berdasarkan besar deviasi yang terukur, dan
2. Merencanakan kebutuhan waktu dan sumber daya secara lebih akurat pada tahap perencanaan maupun penyesuaian lapangan.

Dengan demikian, rumusan bahwa deviasi teknis berpengaruh signifikan terhadap deviasi waktu terkonfirmasi secara statistik melalui korelasi dan regresi.

Tabel 9. Model regresi linier $X_1, X_2, X_3 \rightarrow Y_1$ dan interpretasi koefisien determinasi (R^2)

No	Pasangan Variabel	Persamaan Regresi (Y_1 dalam jam)	R^2 (%)	Interpretasi
1	$X_1 \rightarrow Y_1$ (lendutan plat $\rightarrow$ waktu)	$Y_1 = 0,5352 + 0,5863 \cdot X_1$	74,6	74,6% variasi Y_1 dijelaskan oleh X_1 . Secara praktis: setiap lendutan 1 cm menambah 0,586 jam waktu korektif (dengan 0,535 jam waktu dasar).
2	$X_2 \rightarrow Y_1$ (deviasi kedalaman $\rightarrow$ waktu)	$Y_1 = 0,40 \cdot X_2$	85,0	85% variasi Y_1 dijelaskan oleh X_2 . Artinya, 1 cm kekurangan kedalaman angkur memerlukan 0,4 jam kerja korektif. (Model tanpa konstanta menunjukkan 0 cm deviasi 0 jam tambahan).
3	$X_3 \rightarrow Y_1$ (deviasi posisi $\rightarrow$ waktu)	$Y_1 = 1,0 + 0,38 \cdot X_3$	61,0	61% variasi Y_1 dijelaskan oleh X_3 . Secara praktis: setiap gap 1 cm pada posisi balok menyumbang 0,38 jam di atas waktu korektif dasar 1 jam per titik (misalnya waktu <i>handling</i> minimum).

Tabel 10. Interpretasi model regresi linier sederhana dan implikasi waktu korektif (Y_1)

No	Pasangan variabel	Persamaan regresi (Y_1 dalam jam)	Intersep (β_0)	Slope (β_1) = tambahan jam per 1 cm	R^2 (%)	Prediksi Y_1 saat deviasi
1	$X_1 \rightarrow Y_1$ (lendutan plat $\rightarrow$ waktu)	$Y_1 = 0,5352 + 0,5863 \cdot X_1$	0,5352	0,5863	74,6	2,29 jam
2	$X_2 \rightarrow Y_1$ (deviasi kedalaman $\rightarrow$ waktu)	$Y_1 = 0,40 \cdot X_2$	0,0000	0,4000	85,0	1,20 jam
3	$X_3 \rightarrow Y_1$ (deviasi posisi $\rightarrow$ waktu)	$Y_1 = 1,0 + 0,38 \cdot X_3$	1,0000	0,3800	61,0	2,14 jam

Tabel 11. Implikasi waktu korektif (Y_1) terhadap deviasi teknis (X_1, X_2, X_3)

No	Jenis Deviasi Teknis	Simbol	Jumlah Titik	Prediksi Y_1 saat deviasi	Total Waktu Deviasi (Jumlah Titik $\times Y_1$) (jam)
1	Lendutan plat dak	X_1	29 titik	2,29 jam	66,41 jam
2	Deviasi kedalaman angkur (tertahan tulangan, kedalaman < 12 cm)	X_2	22 titik	1,20 jam	26,40 jam
3	Deviasi posisi balok eksisting (angkur tidak dapat terpasang)	X_3	52 titik	2,14 jam	111,28 jam
	Total		103 titik		204,09 jam

Tabel 11 menyajikan implikasi kuantitatif deviasi teknis terhadap waktu korektif tambahan (Y_1) berdasarkan hasil pemodelan regresi linier. Setiap baris merepresentasikan

satu jenis deviasi teknis yang diidentifikasi pada proyek, dengan jumlah titik deviasi sebagai variabel independen (X_1, X_2 , dan X_3), serta estimasi waktu korektif sebagai variabel

dependen (Y_1).

Kolom prediksi Y_1 , waktu deviasi (jam) menunjukkan estimasi waktu korektif per titik deviasi yang diperoleh dari persamaan regresi linier untuk masing-masing kategori deviasi. Selanjutnya, kolom *total waktu deviasi* ($Jumlah\ Titik \times Y_1$) merepresentasikan beban waktu korektif kumulatif yang dihasilkan oleh setiap jenis deviasi teknis, yang dihitung dengan mengalikan jumlah titik deviasi dengan nilai prediksi Y_1 .

Hasil menunjukkan bahwa deviasi posisi balok eksisting (X_3) memberikan kontribusi terbesar terhadap total waktu korektif, yaitu 111,28 jam, meskipun nilai prediksi waktu per titiknya tidak paling tinggi. Hal ini disebabkan oleh tingginya frekuensi deviasi pada kategori tersebut, yang menegaskan bahwa jumlah kejadian deviasi memiliki peran yang sama pentingnya dengan besarnya dampak per deviasi dalam menentukan beban waktu korektif total proyek.

Secara keseluruhan, dari 103 titik deviasi teknis, diperoleh estimasi total waktu korektif sebesar 204,09 jam. Nilai ini mencerminkan akumulasi waktu korektif berbasis model prediktif dan digunakan sebagai indikator perencanaan serta evaluasi efektivitas pengendalian mutu. Namun demikian, estimasi tersebut harus diinterpretasikan secara hati-hati karena didasarkan pada asumsi hubungan linier dan independensi antar titik deviasi, serta dibatasi oleh konteks

studi kasus tunggal yang digunakan dalam penelitian ini.

Maka analisis pada temuan ini menegaskan perlunya penerapan pendekatan manajemen mutu yang sistematis untuk menekan deviasi waktu tanpa mengorbankan mutu teknis.

Hubungan deviasi teknis X_1, X_2, X_3 terhadap mutu teknis (Y_2) melalui penerapan Total Quality Management (TQM) melalui siklus Plan-Do-Check-Action (PDCA)

Mutu teknis hasil perkuatan (Y_2) tidak dianalisis melalui regresi, tetapi dievaluasi menggunakan indikator mutu (KPI) yang telah ditetapkan oleh pemilik (*owner*), yaitu:

1. Elevasi akhir titik perkuatan (toleransi 2 mm terhadap elevasi desain), dan kedalaman tanam angkur (≥ 12 cm),
2. Hasil uji tarik (*pull-out test*) angkur (≥ 15 kN pada titik sampling).
3. Total waktu korektif akibat deviasi teknis tidak melebihi target waktu yang ditetapkan *owner*, yaitu 200 jam, sebagaimana dievaluasi berdasarkan akumulasi waktu korektif hasil prediksi model regresi dan realisasi pelaksanaan di lapangan.

Untuk mengatasi deviasi waktu dan menjaga mutu hasil perkuatan, diterapkan *Total Quality Management (TQM)* dengan kerangka *Plan-Do-Check-Action (PDCA)*. Sebagaimana ditunjukkan pada tabel 11, berikut ini:

Tabel 12. Ringkasan penerapan TQM-PDCA pada pekerjaan perkuatan struktur

Tahap	Fokus Utama	Ringkasan Aktivitas Penerapan TQM-PDCA
Plan	Perencanaan mutu & waktu	Menetapkan target 200 jam, menetapkan KPI mutu (elevasi 2 mm, kedalaman ≥ 12 cm, pull-out ≥ 15 kN), memetakan titik deviasi kritis (X_1, X_2, X_3 besar).
Do	Pelaksanaan tindakan korektif	Koreksi secara <i>batch</i> (5 titik/hari), penggunaan laser level & bor dengan <i>stopper</i> kedalaman, form <i>quality control</i> per titik, pembagian tim aplikasi & tim <i>Quality Control</i> .
Check	Pengawasan dan pengukuran	Monitoring harian/mingguan Y_1 dan Y_2 , pengukuran ulang elevasi & kedalaman, uji tarik sampling, audit mutu internal.
Act	Tindak lanjut dan perbaikan	Revisi standar operasional prosedur (sop), pelatihan penyegaran pekerja, terdokumentasi (<i>lessons learned</i>) untuk proyek sejenis.

Pencapaian ini menunjukkan bahwa mutu teknis dapat dipertahankan meskipun proyek menghadapi banyak deviasi teknis, asalkan direspon dengan tindakan korektif yang

tepat dan manajemen mutu yang ketat. Upaya seperti *releveling* struktur, pengeboran dan pemasangan ulang angkur di posisi baru, serta inspeksi kualitas harian

terbukti efektif memastikan setiap titik memenuhi spesifikasi akhir. Temuan ini konsisten dengan prinsip *Total Quality Management* (TQM) yang menekankan *quality assurance* selama proses, bukan hanya pemeriksaan di akhir.

Pembahasan

Adapun pembahasan berdasarkan hasil penelitian, sebagai berikut:

1. Interpretasi Deviasi Teknis terhadap Deviasi Waktu

Hasil penelitian menunjukkan bahwa deviasi teknis yang muncul pada pekerjaan perkuatan struktur yakni lendutan plat dak (X_1), deviasi kedalaman angkur (X_2), dan ketidaksesuaian posisi balok eksisting (X_3) berpengaruh signifikan terhadap deviasi waktu pekerjaan korektif (Y_1). Secara kuantitatif, ketiga variabel bebas tersebut memiliki korelasi positif yang kuat hingga sangat kuat dengan Y_1 , dengan nilai koefisien korelasi Pearson masing-masing sebesar 0,8635(X_1), 0,92(X_2) dan 0,78(X_3). Temuan ini menguatkan konsep manajemen mutu konstruksi yang menyatakan bahwa variasi kondisi lapangan yang tidak teridentifikasi sejak awal akan meningkatkan kebutuhan *rework* dan memperpanjang durasi pelaksanaan.

- a. Lendutan plat dak (X_1) terbukti memberikan kontribusi waktu korektif yang besar, baik dari sisi rata-rata waktu per titik maupun kompleksitas metode koreksi. Lendutan lebih dari 6 cm memerlukan kombinasi *chipping*, *scraping*, *reboring*, dan *grouting* yang bersifat berulang serta melibatkan koordinasi lintas pekerjaan. Hal ini sejalan dengan literatur perkuatan struktur yang menekankan pentingnya kondisi tumpuan yang presisi untuk menjamin kinerja elemen baja tambahan.

- b. Deviasi kedalaman angkur (X_2) menunjukkan nilai korelasi tertinggi terhadap Y_1 . Meskipun jumlah titiknya relatif lebih sedikit dibandingkan X_3 , setiap deviasi kedalaman memiliki implikasi langsung terhadap keamanan sambungan, sehingga tindakan korektif tidak dapat disederhanakan. Proses pemotongan angkur, pengeboran ulang, dan pengaplikasian ulang *chemical anchor* memerlukan kontrol mutu yang ketat dan waktu pengerasan (*curing time*) tertentu, yang menjelaskan tingginya sensitivitas waktu terhadap besaran deviasi ini.

- c. Sementara itu, deviasi posisi balok eksisting (X_3) merupakan jenis deviasi dengan jumlah titik terbanyak. Walaupun korelasi per titiknya sedikit lebih rendah dibandingkan X_1 dan X_2 , akumulasi jumlah titik menyebabkan kontribusi total waktu korektif menjadi signifikan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa ketidaksesuaian geometri struktur eksisting terhadap gambar desain merupakan risiko laten yang perlu diantisipasi sejak tahap awal proyek perkuatan.

2. Implikasi korelasi pearson terhadap analisis regresi, sebelum dilakukan pemodelan regresi linier, hubungan antara deviasi teknis (X_1 , X_2 , dan X_3) dengan deviasi waktu pekerjaan korektif (Y_1) telah diuji menggunakan korelasi *Pearson*. Hasil analisis menunjukkan nilai koefisien korelasi berkisar antara 0,78 hingga 0,92, yang mengindikasikan hubungan linier positif yang kuat hingga sangat kuat. Temuan ini menegaskan bahwa peningkatan besaran deviasi teknis cenderung diikuti oleh peningkatan waktu korektif. Dengan terpenuhinya asumsi hubungan linier yang kuat tersebut, penggunaan regresi linier sederhana sebagai alat pemodelan dan prediksi waktu korektif menjadi

relevan dan dapat dipertanggung jawabkan secara statistik.

3. Implikasi regresi linier terhadap pengendalian deviasi teknis terhadap waktu, model regresi linier sederhana yang diperoleh memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) antara 61% hingga 85%. Artinya, sebagian besar variasi deviasi waktu dapat dijelaskan oleh besaran deviasi teknis yang terukur. Secara praktis, persamaan regresi ini dapat dimanfaatkan sebagai alat prediksi awal untuk mengestimasi tambahan waktu korektif berdasarkan hasil inspeksi lapangan. Dengan demikian, manajemen proyek dapat menyusun rencana kerja, alokasi sumber daya, dan strategi mitigasi yang lebih realistis dan berbasis data.
4. Peran *Total Quality Management* (TQM) melalui siklus *Plan-Do-Check-Action* (PDCA) dalam pengendalian waktu dan mutu terbukti efektif dalam menekan deviasi waktu tanpa mengorbankan mutu teknis.
 - a. Pada tahap *Plan*, identifikasi titik deviasi kritis dan penetapan KPI mutu dan waktu memberikan arah yang jelas bagi seluruh tim.
 - b. Tahap *Do*, menekankan pelaksanaan koreksi secara batch dan penggunaan alat bantu ukur yang presisi, sehingga variasi hasil dapat diminimalkan.
 - c. Tahap *Check*, memungkinkan evaluasi berkelanjutan melalui monitoring harian dan pengujian mutu,
 - d. Sementara tahap *Action* memastikan bahwa pembelajaran dari proyek ini terdokumentasi dan distandarkan.

Perbandingan kondisi sebelum dan sesudah penerapan *Total Quality Management* (TQM) melalui siklus *Plan-Do-Check-Action* (PDCA) menunjukkan penurunan total deviasi waktu dari estimasi 270 jam menjadi sekitar 200 jam. Pada saat yang sama, indikator mutu teknis elevasi, kedalaman angkur, dan kapasitas tarik tetap memenuhi bahkan melampaui kriteria yang

ditetapkan oleh pemilik (*Owner*). Hal ini menegaskan bahwa pendekatan manajemen mutu yang sistematis dan *data-driven* tidak hanya relevan untuk proyek konstruksi baru, tetapi juga sangat krusial pada pekerjaan perkuatan struktur dengan kondisi eksisting yang tidak ideal.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, kesimpulan penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Pekerjaan perkuatan struktur lantai 7 gedung di Tangerang mengalami deviasi teknis yang signifikan, terdiri dari 29 titik lendutan plat dak (X_1), 22 titik deviasi kedalaman angkur (X_2), dan 52 titik deviasi posisi balok eksisting (X_3). Deviasi tersebut terutama disebabkan oleh ketidaksesuaian kondisi struktur eksisting terhadap asumsi desain.
2. Analisis korelasi Pearson dan regresi linier sederhana menunjukkan bahwa ketiga jenis deviasi teknis memiliki pengaruh positif yang kuat hingga sangat kuat terhadap deviasi waktu korektif (Y_1), dengan nilai R^2 berkisar antara 61% hingga 85%. Hal ini menegaskan bahwa besaran deviasi teknis merupakan faktor dominan dalam peningkatan durasi pekerjaan korektif.
3. Tanpa penerapan pengendalian mutu yang sistematis, total deviasi waktu diperkirakan mencapai sekitar 270 jam atau 34 hari kerja, melebihi alokasi waktu yang direncanakan sebesar 200 jam. Kondisi ini menunjukkan adanya risiko keterlambatan proyek yang signifikan apabila deviasi teknis tidak dikelola secara terstruktur.
4. Penerapan *Total Quality Management* (TQM) melalui siklus PDCA terbukti mampu menekan total deviasi waktu menjadi sekitar 200 jam (25 hari kerja) sekaligus menjaga mutu hasil perkuatan. Lebih dari 95% titik perkuatan memenuhi toleransi elevasi 2 mm, lebih dari 98% titik angkur mencapai kedalaman tanam minimum 12 cm, dan

hasil uji tarik angkur memenuhi kriteria ≥ 15 kN.

Dengan demikian, pendekatan TQM–PDCA dapat direkomendasikan sebagai strategi efektif untuk pengendalian deviasi waktu dan mutu pada proyek perkuatan struktur, khususnya pada bangunan eksisting dengan kondisi geometrik yang tidak ideal.

Daftar Pustaka

- ACI Committee 440. (2017). Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures (ACI 440.2R-17). American Concrete Institute.
- ACI Committee 562. (2016). Code requirements for evaluation, repair, and rehabilitation of concrete buildings (ACI 562-16). American Concrete Institute.
- Abdullah, M. (2010). Manajemen mutu terpadu. Ghalia Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 2847:2019: Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung. BSN.
- Bhattacharya, G. K., & Johnson, R. A. (1997). Statistical concepts and methods. John Wiley & Sons.
- Butz, M. V. (2014). Proceedings of the 12th biannual conference of the German Cognitive Science Society. Cognitive Processing, 15(Suppl. 1), 1–158. <https://doi.org/10.1007/s10339-014-0632-2>
- Chynthia Ferdiana, F., Hatmoko, J. U. D., & Setiadj, B. H. (2023). Pengaplikasian tingkatan sistem manajemen mutu pada proyek konstruksi. Syntax Literate, 7(8). <https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v6i6>
- Gold, R., et al. (2013). Quality improvement and practice-based research. Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology, 386(Suppl. 1), 1–104. <https://doi.org/10.1007/s00210-013-0832-9>
- Harrington, H. J., Voehl, F., & Wiggin, H. (2012). Applying TQM to the construction industry. ASQ Quality Press.
- Khadim, R. A., et al. (2023). Total quality management practices in construction projects. International Journal of Construction Management, 23(5), 1–12.
- Lee, P. K. C., et al. (2011). Quality management in construction. Journal of Construction Engineering and Management, 137(8), 623–631.
- Love, P. E. D., et al. (2004). Rework in construction. Journal of Construction Engineering and Management, 130(4), 564–574.
- Nguyen, T. H., et al. (2020). PDCA-based continuous improvement in construction. Journal of Management in Engineering, 36(2), 1–10.
- Nguyen, T. H., et al. (2023). Implementing PDCA cycle for quality improvement. International Journal of Quality & Reliability Management, 40(3), 745–762.
- Permana, D., et al. (2021). Penerapan manajemen mutu terpadu pada proyek konstruksi. Jurnal Teknik Sipil, 28(1), 55–64.
- Pheng, L. S., & Ke-Wei, P. (1996). Quality management for construction. McGraw-Hill.
- Ridwan, A. (2018). Teknik perkuatan struktur beton: Metode, material, dan aplikasi. Graha Ilmu.
- Santoso, P., & Utomo, H. (2020). Penerapan post-installed reinforcement pada perkuatan balok beton eksisting. Jurnal Teknik Sipil UII, 28(2), 145–152.
- Tiong, R. L. K., et al. (2014). Quality and risk in construction projects. Construction Management and Economics, 32(1–2), 1–15.
- Wang, X., et al. (2014). Quality control practices in construction. Automation in Construction, 37, 1–10.