

BAB 1

PENDAHULUAN MANAJEMEN MUTU

1.1 Pendahuluan

Perkembangan dunia industri pada abad ke-21 ditandai oleh meningkatnya kompleksitas proses bisnis, digitalisasi, globalisasi rantai pasok, serta meningkatnya ekspektasi pelanggan terhadap kualitas produk dan layanan (Dias et al., 2022). Dalam kondisi tersebut, organisasi tidak lagi cukup hanya menghasilkan produk yang sesuai spesifikasi, tetapi juga dituntut mampu menciptakan sistem yang menjamin konsistensi mutu, efisiensi operasional, keberlanjutan organisasi, dan kepuasan seluruh pemangku kepentingan.

Sistem Manajemen Mutu (*Quality Management System/QMS*) menjadi instrumen strategis yang memungkinkan organisasi mengelola proses secara sistematis untuk mencapai tujuan tersebut. Melalui pendekatan berbasis proses (*process approach*), organisasi dapat mengidentifikasi aktivitas yang memberikan nilai tambah, mengendalikan risiko, memanfaatkan peluang, serta mendorong perbaikan berkelanjutan (International Organization for Standardization [ISO], 2026a; Zeng et al., 2020)..

Publikasi ISO 9001:2026 pada 16 September 2026 menandai evolusi penting dalam standar manajemen mutu internasional. Edisi terbaru ini mempertahankan struktur klausul 4–10 yang telah dikenal sejak ISO 9001:2015, namun memperkuat beberapa aspek utama, yaitu:

1. budaya mutu (*quality culture*);
2. kepemimpinan dan perilaku etis;
3. pemisahan pengelolaan risiko dan peluang;
4. penyelarasan dengan strategi organisasi;
5. integrasi dengan standar sistem manajemen lainnya melalui Harmonized Structure terbaru.

Bagi sektor konstruksi, khususnya Teknik Sipil, penerapan manajemen mutu memiliki arti yang sangat penting karena kualitas pekerjaan secara langsung memengaruhi keselamatan publik, umur layanan infrastruktur, biaya pemeliharaan, serta keberhasilan proyek. Jalan, jembatan, gedung, bendungan, maupun pelabuhan merupakan aset publik yang harus memenuhi standar teknis, regulasi nasional, dan kebutuhan pengguna.

Di Indonesia, penerapan sistem manajemen mutu juga sejalan dengan Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2017 tentang Jasa Konstruksi sebagaimana diselaraskan dengan ketentuan dalam Undang-Undang Nomor 6 Tahun 2023 tentang Cipta Kerja serta Permen PUPR Nomor 10 Tahun 2021 mengenai SMKK.

Pembelajaran manajemen mutu bagi mahasiswa Teknik Sipil tidak hanya bertujuan memahami teori kualitas, tetapi juga membangun kompetensi profesional dalam merancang, mengimplementasikan, mengevaluasi, dan meningkatkan sistem mutu pada berbagai jenis proyek konstruksi (Permendikbudristek Nomor 53 Tahun 2023).

1.2 Konsep Dasar Manajemen Mutu

1.2.1 Pengertian Manajemen Mutu

Secara umum, manajemen mutu merupakan pendekatan sistematis untuk mengarahkan dan mengendalikan organisasi dalam mencapai kualitas yang diharapkan.

Menurut ISO 9000:2026, kualitas adalah:

“Derajat di mana sekumpulan karakteristik yang melekat pada suatu objek memenuhi persyaratan.”

Definisi tersebut menunjukkan bahwa kualitas tidak semata-mata berarti "terbaik" atau "paling mahal", tetapi lebih kepada sejauh mana suatu produk, jasa, proses, atau sistem mampu memenuhi kebutuhan dan persyaratan yang telah ditentukan (Quality management — Fundamentals and vocabulary)

Dalam praktik organisasi, manajemen mutu melibatkan berbagai aktivitas, antara lain:

1. perencanaan mutu (*quality planning*);
2. pengendalian mutu (*quality control*);
3. jaminan mutu (*quality assurance*);
4. peningkatan mutu (*quality improvement*).

Keempat komponen tersebut membentuk siklus pengelolaan mutu yang saling berkaitan (ISO, 2026a).

1.2.2 Definisi Menurut Para Ahli

Beberapa tokoh penting memberikan kontribusi besar terhadap perkembangan konsep mutu.

Tabel 1.1 Kontribusi Tokoh Dalam Konsep Mutu

Tokoh	Konsep Utama
W. Edwards Deming	Continuous Improvement
Joseph Juran	Fitness for Use
Philip Crosby	Zero Defect
Kaoru Ishikawa	Quality Circle
Walter Shewhart	Statistical Quality Control

Meskipun pendekatan masing-masing berbeda, seluruh konsep tersebut menekankan bahwa kualitas harus dibangun sejak awal proses, bukan sekadar diperiksa pada hasil akhir (ISO, 2026a).

1.3 Evolusi Manajemen Mutu

Perjalanan perkembangan manajemen mutu dapat dibagi menjadi lima fase utama (ISO, 2026b).

Tahap 1 – *Inspection Era*

Pada tahap awal, kualitas hanya diperiksa melalui inspeksi terhadap produk akhir. Ciri-ciri:

1. fokus pada deteksi cacat;
2. tindakan setelah produksi selesai;
3. biaya kegagalan tinggi.

Tahap 2 – *Quality Control*

Mulai berkembang penggunaan metode statistik. Walter Shewhart memperkenalkan:

1. *control chart*;
2. variasi proses;
3. pengendalian berbasis data.

Tahap 3 – *Quality Assurance*

Organisasi mulai membangun sistem untuk mencegah cacat sejak awal. Fokusnya adalah:

1. dokumentasi prosedur;
2. standarisasi pekerjaan;
3. audit mutu.

Tahap 4 – *Total Quality Management (TQM)*

Pada era ini kualitas menjadi tanggung jawab seluruh organisasi. Karakteristiknya:

1. kepemimpinan aktif;
2. keterlibatan seluruh karyawan;
3. fokus pelanggan;
4. perbaikan terus-menerus.

Tahap 5 – ISO 9001:2026

ISO 9001:2026 memperluas paradigma TQM menuju organisasi yang lebih adaptif terhadap transformasi digital, kompleksitas rantai pasok, budaya mutu, dan ketahanan organisasi (Dias et al., 2022; ISO, 2026b).

1.4 Peran Manajemen Mutu dalam Teknik Sipil

Bidang Teknik Sipil memiliki karakteristik unik. Kesalahan kecil dapat menyebabkan:

1. kerugian ekonomi besar;
2. kegagalan struktur;
3. kecelakaan kerja;
4. kerusakan lingkungan.

Karena itu sistem mutu menjadi bagian integral dari pengelolaan proyek (PMI, 2021; Permen PUPR Nomor 10 Tahun 2021).

Tabel 1.2 Contoh Penerapan Manajemen Mutu

Tahapan	Aktivitas Mutu
Perencanaan	Review desain
Pengadaan	Evaluasi pemasok
Pelaksanaan	Inspeksi lapangan
Pengujian	Uji beton, baja, agregat
Serah terima	Verifikasi spesifikasi

1.5 Hubungan Mutu dengan Kinerja Proyek

Manajemen mutu memiliki hubungan langsung dengan empat indikator utama keberhasilan proyek (PMI, 2021; Zeng et al., 2020).

Biaya

Mutu yang baik mengurangi:

1. *rework*;
2. pemborosan material;
3. klaim kontrak.

Waktu

Proses yang terkendali mempercepat penyelesaian pekerjaan.

Keselamatan

Standar mutu mendukung pengurangan kecelakaan.

Kepuasan Pelanggan

Hasil pekerjaan yang sesuai spesifikasi meningkatkan kepercayaan pengguna.

1.6 Prinsip-Prinsip Manajemen Mutu ISO 9000:2026

ISO 9000:2026 tetap mempertahankan tujuh prinsip manajemen mutu.

1. Fokus pada pelanggan. Pelanggan menjadi pusat seluruh aktivitas organisasi.
2. Kepemimpinan. Pemimpin membangun arah strategis sekaligus budaya mutu.
3. Keterlibatan orang. Seluruh individu berkontribusi terhadap kualitas.
4. Pendekatan proses. Setiap aktivitas dipandang sebagai bagian dari sistem.
5. Perbaikan berkelanjutan. Organisasi harus selalu meningkatkan kinerja.
6. Pengambilan keputusan berbasis bukti. Keputusan didasarkan pada data.
7. Manajemen hubungan. Hubungan dengan pemasok dan stakeholder harus dikelola secara berkelanjutan.

1.7 Tantangan Implementasi di Indonesia

Beberapa tantangan yang sering dihadapi organisasi Indonesia meliputi:

1. budaya dokumentasi yang belum konsisten;
2. keterbatasan kompetensi SDM;
3. resistensi terhadap perubahan;
4. integrasi sistem digital;
5. pengendalian pemasok.

Pada sektor konstruksi, tantangan tambahan mencakup variasi kondisi lapangan, perubahan desain, serta koordinasi banyak pihak (Permen PUPR Nomor 10 Tahun 2021; ISO, 2026b).

1.8 Filosofi Manajemen Mutu

Filosofi dasar manajemen mutu berangkat dari pemahaman bahwa kualitas bukanlah hasil dari pemeriksaan akhir, melainkan hasil dari sistem kerja yang dirancang secara benar sejak awal.

Deming menegaskan bahwa sebagian besar masalah kualitas berasal dari sistem, bukan semata-mata kesalahan individu. Oleh karena itu, perbaikan harus diarahkan pada sistem organisasi secara keseluruhan. Filosofi ini memiliki lima pilar utama (ISO, 2026a).

1. Kualitas adalah tanggung jawab semua orang

Mutu tidak hanya menjadi tanggung jawab bagian Quality Control. Dalam proyek konstruksi misalnya:

1. perencana bertanggung jawab pada kualitas desain;
2. pengadaan menjamin kualitas material;
3. pelaksana menjaga mutu pekerjaan;
4. pengawas memastikan kesesuaian.

2. Fokus pada pelanggan

Pelanggan merupakan alasan utama keberadaan organisasi. Dalam konstruksi, pelanggan dapat berupa:

1. pemerintah;
2. swasta;

3. masyarakat pengguna;
4. pemilik proyek.

3. Pencegahan lebih baik daripada perbaikan

Biaya memperbaiki kesalahan jauh lebih besar dibandingkan biaya pencegahannya.

Contoh:

1. pengecoran ulang beton;
2. pembongkaran pondasi;
3. perbaikan retak struktur.

4. Keputusan harus berbasis data

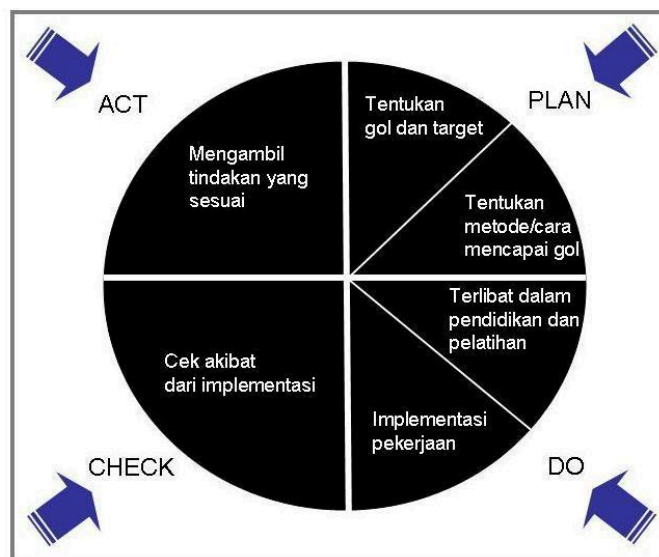
Mutu harus diukur menggunakan indikator objektif. Misalnya:

1. kuat tekan beton;
2. nilai slump;
3. kepadatan tanah;
4. produktivitas pekerjaan.

5. Perbaikan tidak pernah berhenti

ISO menggunakan istilah continual improvement, yaitu peningkatan yang dilakukan secara terus-menerus berdasarkan hasil evaluasi sebelumnya.

1.9 Siklus PDCA dalam Manajemen Mutu



Gambar 1.1 Siklus PDCA Dalam Manajemen Mutu

Salah satu konsep paling fundamental dalam manajemen mutu adalah *PDCA Cycle* yang dikembangkan oleh Walter Shewhart dan dipopulerkan oleh W. Edwards Deming. PDCA terdiri atas empat tahap utama (ISO, 2026a; ISO, 2026b).

1. Plan (Perencanaan)

Tahap ini meliputi:

1. menetapkan tujuan;
2. mengidentifikasi risiko;
3. menyusun prosedur;
4. menentukan indikator keberhasilan.

Contoh proyek jalan dimana target kepadatan tanah minimal 95% *Modified Proctor*.

2. Do (Pelaksanaan)

Pada tahap ini organisasi melaksanakan pekerjaan sesuai rencana. Aktivitasnya antara lain:

1. pelaksanaan konstruksi;
2. pengujian material;
3. dokumentasi pekerjaan.

3. Check (Pemeriksaan)

Tahap pemeriksaan dilakukan untuk memastikan hasil sesuai target. Contohnya:

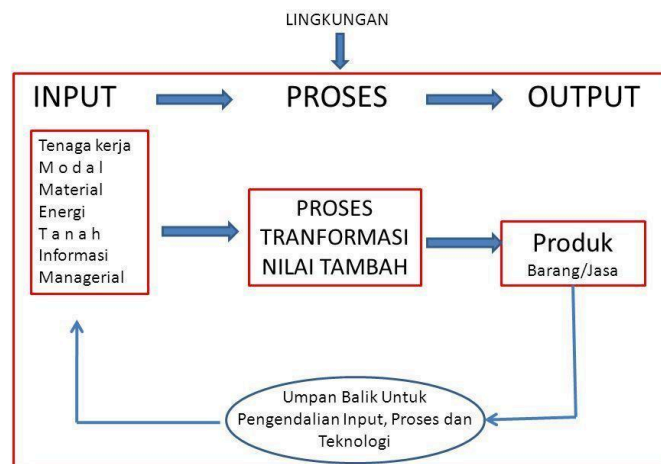
1. uji kuat tekan beton;
2. inspeksi visual;
3. audit mutu.

4. Act (Tindakan)

Hasil evaluasi digunakan untuk:

1. tindakan korektif;
2. tindakan preventif;
3. peningkatan prosedur.

1.10 Pendekatan Proses (*Process Approach*)



Gambar 1.2 Pendekatan Proses Dalam Manajemen Mutu

ISO 9001:2026 tetap menempatkan pendekatan proses sebagai inti sistem manajemen mutu. Setiap organisasi terdiri atas proses yang saling berhubungan. Setiap proses memiliki:

1. input;
2. aktivitas;
3. output;
4. umpan balik.

Tabel 1.3 Pendekatan Proses Pada Proyek Konstruksi

Input	Proses	Output
Gambar kerja	Pelaksanaan pondasi	Pondasi selesai
Material beton	Pengecoran	Struktur beton
Agregat	Penghamparan	Perkerasan jalan

Keuntungan pendekatan proses

1. meningkatkan efisiensi;
2. mengurangi pemborosan;
3. memperjelas tanggung jawab;
4. mempermudah audit.

Menurut ISO, pendekatan proses memungkinkan organisasi memahami hubungan antaraktivitas sehingga menghasilkan sistem yang lebih konsisten.

1.11 Budaya Mutu (*Quality Culture*)

Salah satu pembaruan paling menonjol pada ISO 9001:2026 adalah penekanan terhadap budaya mutu. Budaya mutu merupakan sekumpulan nilai, keyakinan, perilaku, dan kebiasaan yang membuat kualitas menjadi bagian alami dari aktivitas organisasi. Organisasi dengan budaya mutu memiliki ciri-ciri berikut.

1. Setiap orang memahami standar kerja.
2. Kesalahan dilaporkan tanpa rasa takut.
3. Perbaikan didorong oleh semua pihak.
4. Kepemimpinan memberi teladan.

Contoh implementasi:

1. toolbox meeting setiap pagi;
2. inspeksi bersama;
3. pelaporan ketidaksesuaian secara terbuka;
4. evaluasi mingguan mutu.

ISO menekankan bahwa budaya mutu tidak dapat dibangun hanya melalui dokumen, tetapi melalui perilaku nyata pimpinan dan seluruh personel.

1.12 Kepemimpinan dalam ISO 9001:2026

Kepemimpinan merupakan faktor utama keberhasilan implementasi sistem mutu. Pada ISO 9001:2026, pimpinan tidak lagi cukup sekadar menyetujui kebijakan mutu. Mereka harus:

1. menunjukkan komitmen;
2. membangun budaya mutu;
3. menyediakan sumber daya;
4. mengintegrasikan mutu ke strategi organisasi.

Pimpinan memiliki peran:

1. menetapkan visi mutu;
2. mengkomunikasikan tujuan;
3. mendukung inovasi;
4. mengevaluasi kinerja.

Sebagai contoh seorang Project Manager harus memastikan bahwa:

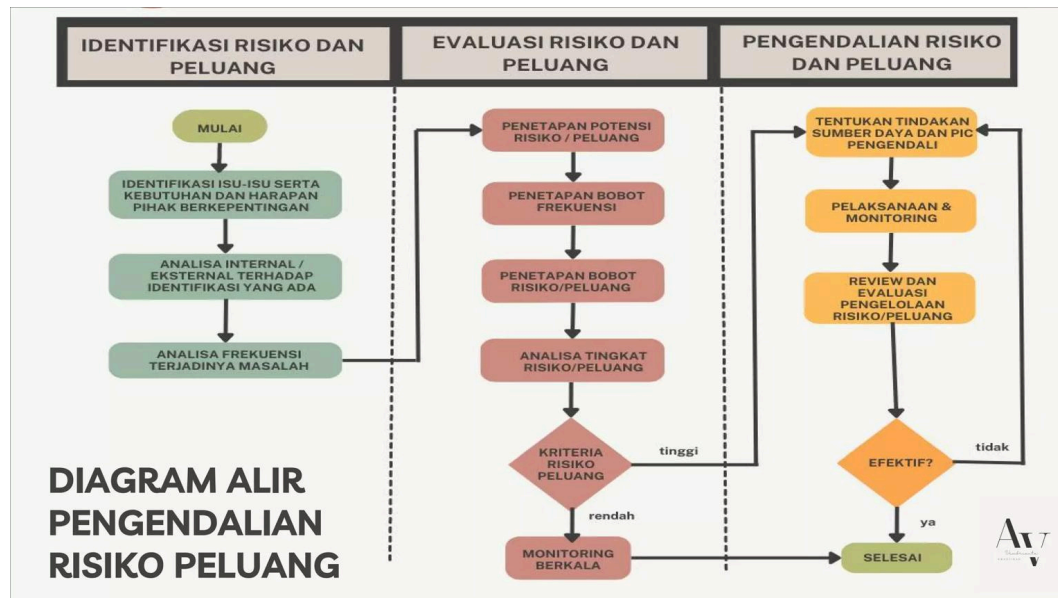
1. spesifikasi dipahami seluruh tim;
2. pengujian laboratorium dilakukan;
3. temuan audit ditindaklanjuti.

1.13 Risk Based Thinking Pada ISO 9001:2026

Konsep *Risk Based Thinking* tetap dipertahankan, namun ISO 9001:2026 memberikan pemisahan yang lebih jelas antara:

1. pengelolaan risiko;
2. pengelolaan peluang.

Pendekatan ini membuat organisasi tidak hanya fokus menghindari masalah, tetapi juga mampu meningkatkan kinerja melalui inovasi.



Gambar 1.3 Konsep Risk Based Thinking

1.14 Etika sebagai Bagian dari Manajemen Mutu

ISO 9001:2026 memberikan perhatian lebih besar terhadap perilaku etis dalam pengelolaan organisasi. Etika mutu mencakup:

1. kejujuran pelaporan;
2. transparansi;
3. akuntabilitas;
4. kepatuhan regulasi.

Contoh pelanggaran etika

1. memalsukan hasil uji beton;
2. menggunakan material di bawah spesifikasi;
3. menyembunyikan ketidaksesuaian.

Sebaliknya, organisasi yang beretika akan:

1. melaporkan masalah secara terbuka;
2. melakukan tindakan korektif;
3. menjaga kepercayaan pelanggan.

1.15 Integrasi dengan Sistem Manajemen Lain

ISO 9001:2026 menggunakan *Harmonized Structure* sehingga lebih mudah diintegrasikan dengan standar lain. Beberapa standar yang umum dipadukan antara lain:

Tabel 1.4 Integrasi ISO 9001:2026 Dengan Standar Lain

Standar	Fokus
ISO 9001	Mutu

ISO 14001	Lingkungan
ISO 45001	Keselamatan Kerja
ISO 50001	Energi

Contoh pada perusahaan konstruksi dimana satu proyek dapat menjalankan:

1. mutu pekerjaan;
2. keselamatan konstruksi;
3. pengelolaan limbah;
4. efisiensi energi.

Integrasi tersebut mengurangi duplikasi dokumen dan meningkatkan efektivitas pengelolaan organisasi.

1.16 Manajemen Mutu pada Proyek Konstruksi Teknik Sipil

Industri konstruksi memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan industri manufaktur. Setiap proyek memiliki lokasi, kondisi tanah, desain, sumber daya manusia, serta lingkungan kerja yang berbeda sehingga variasi proses menjadi jauh lebih tinggi. Oleh karena itu, sistem manajemen mutu pada proyek konstruksi harus mampu menjamin konsistensi kualitas meskipun menghadapi kondisi lapangan yang dinamis (PMI, 2021; Permen PUPR Nomor 10 Tahun 2021).

Menurut prinsip ISO 9001:2026, organisasi harus mengendalikan seluruh proses yang memengaruhi kualitas hasil pekerjaan, mulai dari tahap perencanaan hingga penyerahan proyek kepada pengguna.

Karakteristik proyek konstruksi

Beberapa karakteristik utama proyek konstruksi adalah:

1. bersifat unik (setiap proyek berbeda);
2. melibatkan banyak pihak;
3. memiliki risiko teknis tinggi;
4. dipengaruhi kondisi lingkungan;
5. membutuhkan pengendalian mutu secara berkelanjutan.

Siklus mutu proyek konstruksi

Siklus mutu pada proyek konstruksi dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Perencanaan
 1. Review gambar kerja.
 2. Verifikasi spesifikasi teknis.
 3. Penyusunan *Quality Plan*.
2. Pengadaan
 1. Seleksi pemasok.
 2. Pemeriksaan sertifikat material.
 3. Verifikasi mutu produk.
3. Pelaksanaan
 1. Pengawasan pekerjaan.
 2. Pengendalian metode kerja.
 3. Dokumentasi mutu.
4. Pengujian
 1. Uji laboratorium.
 2. Inspeksi lapangan.

3. Kalibrasi alat.
5. Serah Terima
 1. *Final inspection*.
 2. *As-built drawing*.
 3. Dokumentasi mutu lengkap.

1.17 Hubungan Mutu dengan Empat Sasaran Utama Proyek

Keberhasilan proyek konstruksi tidak hanya diukur dari selesai tepat waktu, tetapi juga dari kualitas hasil pekerjaan, efisiensi biaya, keselamatan kerja, dan keberlanjutan aset (PMI, 2021; Zeng et al., 2020).

1. Mutu dan biaya

Kesalahan mutu menyebabkan biaya tambahan melalui:

1. pembongkaran pekerjaan;
2. pekerjaan ulang (*rework*);
3. pemborosan material;
4. klaim kontrak.

Sebagai ilustrasi, beton yang gagal mencapai kuat tekan rencana dapat mengakibatkan pembongkaran struktur yang biayanya jauh lebih besar dibandingkan biaya pengendalian mutu sejak awal.

2. Mutu dan waktu

Kualitas yang buruk sering menjadi penyebab keterlambatan proyek. Contoh:

1. hasil pengujian tidak memenuhi spesifikasi;
2. material ditolak;
3. pekerjaan harus diulang.

3. Mutu dan keselamatan

Hubungan mutu dengan keselamatan sangat erat. Contohnya:

1. mutu baja tulangan memengaruhi kekuatan struktur;
2. mutu bekisting memengaruhi keselamatan pekerja;
3. mutu sambungan memengaruhi stabilitas konstruksi.

4. Mutu dan keberlanjutan

Infrastruktur yang berkualitas memiliki umur layanan lebih panjang sehingga mengurangi konsumsi sumber daya untuk perbaikan.

1.18 Quality Planning pada Proyek Konstruksi

Perencanaan mutu merupakan tahap awal yang menentukan keberhasilan implementasi sistem mutu. Dokumen utama yang biasanya disusun meliputi (PMI, 2021; ISO, 2026b):

1. Quality Policy;
2. Quality Objectives;
3. Project Quality Plan;
4. Inspection and Test Plan (ITP);
5. Work Method Statement.

Tabel 1.5 Contoh Isi *Project Quality Plan*

Komponen	Contoh
Tujuan mutu	Beton fc' 30 MPa

Standar	SNI 2847
Pengujian	Slump & Compression Test
Frekuensi	Setiap batch
PIC	QC Engineer

Dokumen tersebut menjadi pedoman seluruh personel selama pelaksanaan proyek.

BAB 2

KONSEP KUALITAS DALAM TEKNIK SIPIL

2.1 Pendahuluan

Kualitas merupakan salah satu faktor terpenting yang menentukan keberhasilan suatu proyek teknik sipil. Infrastruktur seperti jalan raya, jembatan, gedung, bendungan, pelabuhan, maupun bandar udara dirancang untuk memberikan pelayanan kepada masyarakat dalam jangka waktu yang panjang. Oleh karena itu, kualitas tidak dapat dipandang hanya sebagai hasil akhir pekerjaan, melainkan sebagai proses yang harus dikendalikan sejak tahap perencanaan, pengadaan, pelaksanaan konstruksi, hingga operasi dan pemeliharaan.

Dalam dunia konstruksi modern, kualitas telah berkembang menjadi bagian dari strategi organisasi. Perusahaan konstruksi tidak lagi sekadar berorientasi pada penyelesaian proyek tepat waktu dan sesuai anggaran, tetapi juga harus mampu menghasilkan pekerjaan yang aman, tahan lama, ramah lingkungan, serta memenuhi harapan pengguna (*customer satisfaction*) sebagaimana ditekankan dalam ISO 9001:2026 (ISO, 2026).

Perubahan paradigma tersebut didorong oleh meningkatnya kompleksitas proyek, perkembangan teknologi digital, serta tuntutan pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*). Organisasi konstruksi kini dituntut untuk mengintegrasikan sistem manajemen mutu dengan manajemen risiko, inovasi teknologi, serta prinsip keberlanjutan agar mampu meningkatkan daya saing secara global (Love et al., 2021).

Di Indonesia, penerapan sistem manajemen mutu menjadi semakin penting seiring dengan meningkatnya investasi pembangunan infrastruktur nasional. Proyek-proyek strategis nasional memerlukan standar kualitas yang tinggi agar mampu memberikan manfaat ekonomi dan sosial dalam jangka panjang. Kegagalan kualitas pada proyek dapat mengakibatkan pembengkakan biaya, keterlambatan penyelesaian, penurunan kepercayaan publik, bahkan kecelakaan konstruksi yang berdampak pada keselamatan masyarakat (Hinze, 2020).

Menurut ISO 9000:2026, kualitas didefinisikan sebagai tingkat sejauh mana sekumpulan karakteristik inheren suatu objek memenuhi persyaratan (*degree to which a set of inherent characteristics fulfils requirements*). Definisi ini menunjukkan bahwa kualitas tidak hanya berkaitan dengan spesifikasi teknis, tetapi juga mencakup kebutuhan pelanggan, persyaratan hukum, keselamatan, keberlanjutan, dan efektivitas operasional.

Beberapa alasan utama pentingnya kualitas dalam teknik sipil meliputi:

1. melindungi keselamatan pengguna infrastruktur,
2. meningkatkan umur layanan bangunan,
3. mengurangi biaya pemeliharaan,
4. meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya,
5. memperkuat reputasi organisasi konstruksi.

Penelitian menunjukkan bahwa investasi pada sistem manajemen mutu sejak tahap awal proyek mampu menurunkan risiko kegagalan konstruksi secara signifikan dibandingkan perbaikan setelah pekerjaan selesai (Ahiaga-Dagbui et al., 2020).

Selain itu, perkembangan teknologi seperti *Building Information Modeling* (BIM), *Internet of Things* (IoT), drone inspeksi, kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*), dan analitik data telah mengubah cara organisasi melakukan pengendalian mutu. Teknologi tersebut memungkinkan inspeksi menjadi lebih cepat, akurat, dan terdokumentasi secara digital sehingga mendukung penerapan *continuous improvement* sebagaimana dipersyaratkan ISO 9001:2026.

ISO 9001:2026 merupakan standar internasional mengenai Sistem Manajemen Mutu (*Quality Management System/QMS*) yang menekankan pendekatan proses (*process approach*), pemikiran berbasis risiko (*risk-based thinking*), pengambilan keputusan berbasis bukti (*evidence-based decision making*), serta peningkatan berkelanjutan (*continuous improvement*).

Pada proyek teknik sipil, penerapan standar ini membantu organisasi dalam:

1. memastikan seluruh proses terdokumentasi,
2. mengendalikan perubahan desain,
3. meningkatkan konsistensi kualitas pekerjaan,
4. memperkuat koordinasi antar stakeholder,
5. meningkatkan kepuasan pengguna.

2.2 Konsep dan Dimensi Mutu

2.2.1 Pengertian Mutu dalam Teknik Sipil

Dalam praktik teknik sipil, mutu dapat dipahami sebagai kemampuan suatu produk konstruksi atau layanan teknik untuk memenuhi persyaratan teknis, kebutuhan pengguna, persyaratan keselamatan, regulasi, serta harapan pemangku kepentingan sepanjang siklus hidup infrastruktur.

Berbeda dengan industri manufaktur yang menghasilkan produk berulang, proyek konstruksi bersifat unik. Setiap proyek memiliki karakteristik lokasi, kondisi tanah, cuaca, sumber daya, serta risiko yang berbeda. Oleh karena itu, sistem pengelolaan mutu harus mampu beradaptasi terhadap variasi tersebut.

Mutu konstruksi dipengaruhi oleh lima unsur utama (Choudhry et al., 2021):

1. manusia (*manpower*),
2. material,
3. metode,
4. mesin,
5. lingkungan kerja.

Kelima unsur tersebut dikenal sebagai pendekatan 5M, yang menjadi dasar analisis penyebab masalah kualitas.

Tabel 2.1 Unsur 5M Dalam Kualitas Konstruksi

Unsur	Contoh
Manpower	Kompetensi pekerja
Material	Mutu beton dan baja
Method	SOP pengecoran

Machine	Kalibrasi alat
Environment	Cuaca dan kondisi lokasi

Kesalahan pada salah satu unsur tersebut dapat menyebabkan penurunan kualitas pekerjaan. Sebagai contoh, mutu beton yang dirancang sebesar 30 MPa tidak akan tercapai apabila:

1. campuran tidak sesuai desain,
2. agregat kotor,
3. proses pemadatan kurang baik,
4. curing tidak dilakukan dengan benar.

Kasus seperti ini sering menjadi penyebab munculnya retak dini (*early-age cracking*) pada struktur beton.

2.2.2 Konsep Kualitas sebagai Nilai

Konsep kualitas dalam teknik sipil tidak hanya berorientasi pada kepatuhan terhadap spesifikasi, tetapi juga pada penciptaan nilai. Infrastruktur dikatakan berkualitas apabila mampu memberikan manfaat yang optimal bagi masyarakat dengan biaya siklus hidup (*life cycle cost*) yang efisien.

ISO 9001:2026 menempatkan pelanggan sebagai pusat perhatian. Dalam konteks teknik sipil, pelanggan tidak hanya berarti pemilik proyek (*owner*), tetapi juga pengguna jalan, penghuni gedung, pemerintah, masyarakat sekitar, hingga generasi mendatang yang akan memanfaatkan infrastruktur tersebut. Nilai yang dihasilkan kualitas

1. keselamatan publik,
2. kenyamanan pengguna,
3. efisiensi operasional,
4. ketahanan terhadap bencana,
5. keberlanjutan lingkungan.

Misalnya, pembangunan jalan yang memiliki sistem drainase baik akan memberikan manfaat berupa umur layanan lebih panjang sekaligus mengurangi risiko banjir.

2.2.3 Kualitas Sepanjang Siklus Hidup Infrastruktur

Pendekatan modern memandang kualitas sebagai sesuatu yang harus dijaga sepanjang siklus hidup infrastruktur, bukan hanya pada saat konstruksi. Tahapan tersebut meliputi:

1. Perencanaan
2. Desain
3. Pengadaan
4. Pelaksanaan
5. Operasi
6. Pemeliharaan
7. Rehabilitasi

Tabel 2.2 Pengendalian Mutu Berdasarkan Siklus Hidup

Tahap	Fokus Pengendalian
Perencanaan	Analisis kebutuhan

Desain	Verifikasi gambar
Pengadaan	Seleksi pemasok
Konstruksi	QC lapangan
Operasi	Monitoring kinerja
Pemeliharaan	Inspeksi rutin
Rehabilitasi	Evaluasi kondisi

Pendekatan ini sejalan dengan konsep *Whole Life Asset Management*, yaitu pengelolaan aset berdasarkan umur layanan untuk memaksimalkan nilai investasi (ISO, 2026).

2.2.4 Hubungan Kualitas dengan Keselamatan

Salah satu dimensi terpenting kualitas adalah keselamatan (safety). Struktur yang memenuhi spesifikasi belum tentu berkualitas apabila proses pembangunannya mengabaikan keselamatan pekerja maupun masyarakat.

Penelitian Love dkk. (2021) menunjukkan bahwa organisasi dengan sistem manajemen mutu yang matang cenderung memiliki tingkat kecelakaan kerja lebih rendah karena prosedur kerja menjadi lebih terstandarisasi. Contohnya:

1. penggunaan bekisting sesuai desain,
2. inspeksi scaffolding,
3. pengujian crane,
4. pemeriksaan APD.

Dengan demikian, kualitas dan keselamatan merupakan dua aspek yang saling memperkuat.

2.2.5 Kualitas dan Keberlanjutan

Perkembangan terbaru dalam ISO 9001:2026 menekankan pentingnya mempertimbangkan isu keberlanjutan (sustainability) dalam pengelolaan mutu. Dalam proyek teknik sipil, penerapan kualitas berkelanjutan dapat dilakukan melalui:

1. penggunaan material rendah emisi,
2. pengurangan limbah konstruksi,
3. efisiensi energi,
4. pengelolaan air,
5. pemanfaatan material daur ulang.

Sebagai contoh, penggunaan *fly ash*, *slag*, atau material hasil daur ulang pada beton dapat meningkatkan efisiensi sumber daya sekaligus mengurangi jejak karbon (*carbon footprint*) proyek (Habert et al., 2020).

2.3 Dimensi Mutu dalam Teknik Sipil

Kualitas tidak dapat diukur hanya dari satu indikator, melainkan merupakan kombinasi berbagai karakteristik yang saling berhubungan (ISO, 2026; Choudhry et al., 2021). Dalam praktik konstruksi modern, lima dimensi yang paling relevan adalah:

1. Kinerja (*Performance*)

2. Keandalan (*Reliability*)
3. Daya Tahan (*Durability*)
4. Keselamatan (*Safety*)
5. Kemudahan Pemeliharaan (*Maintainability*)

Kelima dimensi tersebut selaras dengan pendekatan ISO 9001:2026, yang menekankan pemenuhan kebutuhan pelanggan melalui proses yang konsisten, pengelolaan risiko, serta peningkatan berkelanjutan. Kelima dimensi mutu tidak berdiri sendiri. Setiap dimensi memengaruhi dimensi lainnya sehingga keberhasilan proyek harus dilihat secara menyeluruh.



Gambar 2.1 Lima Dimensi Mutu Dalam Teknik Sipil

Sebagai contoh, jalan yang memiliki mutu perkerasan tinggi tetapi sulit diperbaiki akan meningkatkan biaya pemeliharaan dalam jangka panjang. Demikian pula jembatan yang kuat tetapi memiliki prosedur inspeksi yang buruk dapat mengalami penurunan tingkat keselamatan.

2.3.1 Dimensi Kinerja (*Performance*)

Kinerja (*performance*) merupakan kemampuan suatu infrastruktur untuk menjalankan fungsi yang direncanakan sesuai spesifikasi teknis selama masa operasinya. Menurut ISO 9000:2026, karakteristik kualitas harus dikaitkan dengan kemampuan memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Dalam teknik sipil, persyaratan tersebut biasanya tertuang dalam gambar kerja, spesifikasi teknis, SNI, serta kontrak proyek. Beberapa indikator yang umum digunakan antara lain:

1. kapasitas struktur,
2. tingkat pelayanan jalan,
3. kekuatan beton,
4. kekakuan struktur,
5. kualitas permukaan perkerasan,

6. deformasi yang diizinkan.

Tabel 2.3 Indikator Kinerja Infrastruktur

Jenis Infrastruktur	Contoh Indikator
Jalan	IRI, PCI
Jembatan	Defleksi
Gedung	Kapasitas beban
Bendungan	Kebocoran
Pelabuhan	Kapasitas dermaga

Contoh penerapan misalkan pada proyek pembangunan jalan nasional, salah satu indikator utama adalah International Roughness Index (IRI) yang menunjukkan tingkat kerataan permukaan jalan. Semakin kecil nilai IRI, semakin nyaman kendaraan melintas. Misalnya:

1. IRI 2 m/km → sangat baik.
2. IRI 4 m/km → cukup.
3. IRI >6 m/km → memerlukan perbaikan.

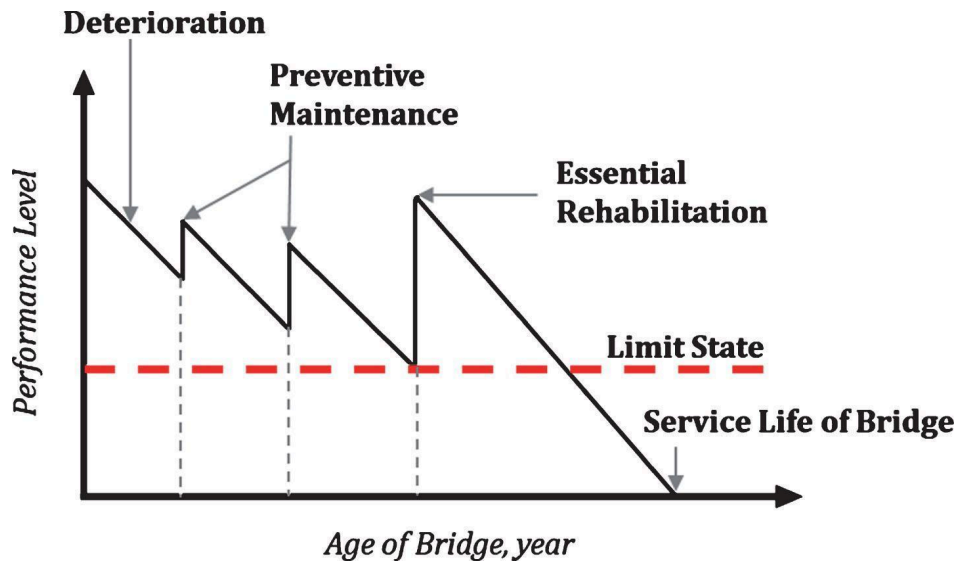
Pencapaian nilai tersebut memerlukan pengendalian mutu mulai dari pemadatan tanah dasar hingga penghamparan lapisan aspal. Faktor yang Mempengaruhi Kinerja

1. kualitas material,
2. ketepatan desain,
3. metode konstruksi,
4. kondisi lingkungan,
5. kompetensi tenaga kerja.

Love et al. (2021) menunjukkan bahwa variasi metode kerja menjadi salah satu penyebab utama ketidakkonsistenan kinerja proyek konstruksi.

2.3.2 Dimensi Keandalan (*Reliability*)

Keandalan (*reliability*) merupakan kemampuan suatu sistem untuk tetap berfungsi secara konsisten selama periode tertentu dalam kondisi operasi yang telah direncanakan. Berbeda dengan kinerja yang menilai kemampuan awal suatu struktur, keandalan lebih menekankan konsistensi performa sepanjang waktu.



Gambar 2.2 Konsep Keandalan Struktur Terhadap Waktu

Grafik tersebut menggambarkan bahwa struktur yang andal mengalami penurunan kinerja secara perlahan, sedangkan struktur yang tidak andal mengalami penurunan tajam akibat kerusakan dini. Indikator keandalan antara lain

1. frekuensi kerusakan,
2. probabilitas kegagalan,
3. waktu antar kerusakan,
4. konsistensi pelayanan.

2.3.3 Dimensi Daya Tahan (*Durability*)

Daya tahan (*durability*) adalah kemampuan material maupun struktur untuk mempertahankan fungsi dan karakteristiknya selama umur rencana meskipun terpapar lingkungan. Dalam teknik sipil, durabilitas menjadi faktor yang sangat penting karena sebagian besar infrastruktur dirancang untuk digunakan puluhan hingga ratusan tahun.

Beberapa faktor yang mempercepat degradasi struktur meliputi:

1. hujan,
2. kelembapan,
3. klorida,
4. sulfat,
5. karbonasi,
6. abrasi,
7. temperatur tinggi.

Tabel 2.4 Ancaman terhadap Durabilitas

Faktor	Dampak
Klorida	Korosi tulangan
Sulfat	Kerusakan beton
Abrasi	Keausan
Karbonasi	Penurunan pH beton
Air laut	Korosi

Contoh kasus misalnya di wilayah pesisir Indonesia, banyak jembatan mengalami korosi akibat lingkungan laut. Pencegahan dilakukan melalui:

1. penggunaan beton mutu tinggi,
2. penambahan cover concrete,
3. pelapisan pelindung,
4. inspeksi rutin.

Pemilihan material yang tepat mampu memperpanjang umur struktur sekaligus mengurangi biaya siklus hidup (Habert et al., 2020).

2.3.4 Dimensi Keselamatan (*Safety*)

Keselamatan merupakan kemampuan suatu sistem konstruksi melindungi pekerja, pengguna, dan masyarakat dari risiko kecelakaan. Keselamatan menjadi salah satu dimensi mutu paling kritis karena kegagalan pada aspek ini dapat menimbulkan korban jiwa. Beberapa aktivitas kritis meliputi:

1. pekerjaan di ketinggian,
2. pengangkatan beban berat,
3. pengecoran beton,
4. pekerjaan listrik,
5. penggunaan alat berat.

Hierarki pengendalian risiko dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 2.3 Hierarki Pengendalian Risiko

Pendekatan tersebut selaras dengan prinsip manajemen risiko yang diperkuat dalam ISO 9001:2026.

2.3.5 Dimensi Kemudahan Pemeliharaan (*Maintainability*)

Kemudahan pemeliharaan merupakan kemampuan suatu infrastruktur untuk diperiksa, dirawat, dan diperbaiki dengan efisien selama masa operasinya. Pada masa lalu, aspek ini sering diabaikan karena fokus proyek hanya pada penyelesaian konstruksi.

Saat ini, pendekatan *Life Cycle Asset Management* menjadikan *maintainability* sebagai indikator penting keberhasilan desain. Prinsip *maintainability* adalah:

1. akses inspeksi mudah,
2. komponen mudah diganti,
3. dokumentasi lengkap,

4. sistem monitoring tersedia.

Misalnya ontok pada gedung yang menyediakan jalur inspeksi atap, ruang servis dan panel listrik mudah diakses akan memiliki biaya pemeliharaan lebih rendah dibanding gedung yang tidak mempertimbangkan akses tersebut.

Kelima dimensi mutu saling memengaruhi seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 2.4 Hubungan Antar Dimensi Mutu

Contoh hubungan tersebut:

1. Kinerja tinggi meningkatkan kepercayaan pengguna.
2. Durabilitas tinggi menurunkan biaya pemeliharaan.
3. Maintainability yang baik memperpanjang umur struktur.
4. Keselamatan yang tinggi meningkatkan keberlanjutan proyek.

2.4 Stakeholder Mutu Dalam Teknik Sipil

Keberhasilan suatu proyek konstruksi tidak hanya ditentukan oleh kualitas material atau kecanggihan teknologi yang digunakan, tetapi juga oleh kemampuan seluruh pihak yang terlibat untuk bekerja secara terkoordinasi dalam mencapai sasaran mutu. Dalam proyek teknik sipil, setiap keputusan yang diambil oleh pemilik proyek, konsultan, kontraktor, pemasok, laboratorium, maupun pemerintah dapat memengaruhi hasil akhir pekerjaan. Oleh karena itu, manajemen mutu merupakan tanggung jawab bersama yang harus dijalankan secara sistematis sepanjang siklus hidup proyek.

ISO 9001:2026 menekankan pentingnya memahami konteks organisasi (*Clause 4*), kebutuhan pihak berkepentingan (*interested parties*), kepemimpinan (*leadership*), komunikasi, serta pembagian tanggung jawab yang jelas agar sistem manajemen mutu berjalan efektif (ISO, 2026). Dalam konteks teknik sipil, stakeholder bukan sekadar pihak yang terlibat dalam kontrak, tetapi juga semua pihak yang menerima dampak dari pembangunan infrastruktur.

Sebagai contoh, pembangunan jalan nasional tidak hanya melibatkan Kementerian PUPR sebagai pemilik proyek, tetapi juga pemerintah daerah, masyarakat sekitar, penyedia material, laboratorium pengujian, hingga pengguna jalan yang nantinya akan memanfaatkan infrastruktur tersebut. Apabila salah satu stakeholder tidak menjalankan

fungsinya secara optimal, maka kualitas proyek secara keseluruhan dapat menurun (Love et al., 2021).

2.4.2 Konsep *Stakeholder* Dalam Manajemen Mutu

Stakeholder adalah individu, kelompok, atau organisasi yang memiliki kepentingan terhadap hasil suatu proyek atau dapat dipengaruhi oleh pelaksanaan proyek tersebut. Menurut ISO 9001:2026, organisasi harus:

1. mengidentifikasi stakeholder yang relevan,
2. memahami kebutuhan mereka,
3. mempertimbangkan harapan mereka dalam sistem manajemen mutu,
4. memonitor perubahan kebutuhan tersebut.

Pendekatan ini membantu organisasi mengurangi konflik, meningkatkan koordinasi, serta memperkuat kepuasan pelanggan. *Stakeholder* proyek konstruksi dapat dibagi menjadi dua kelompok utama seperti terlihat pada gambar berikut.

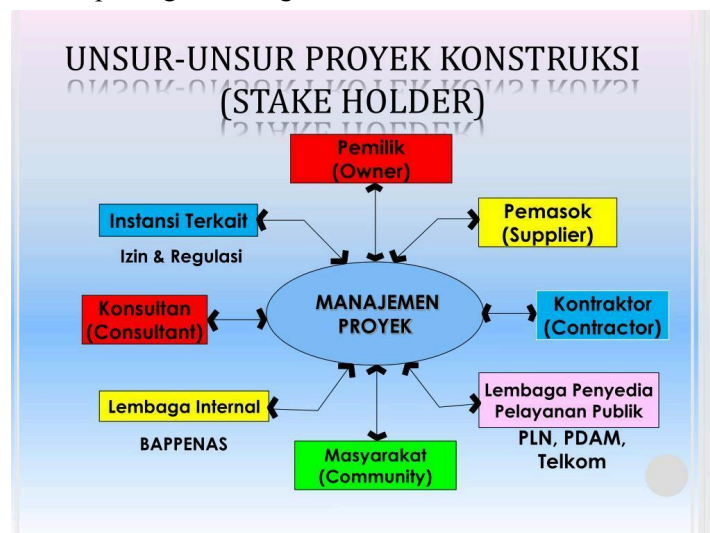
Tabel 2.5 Klasifikasi Stakeholder

Jenis	Contoh
Internal	Owner, Konsultan, Kontraktor
Eksternal	Supplier, Laboratorium, Pemerintah, Masyarakat

Stakeholder internal memiliki peran langsung dalam pelaksanaan proyek, sedangkan *stakeholder* eksternal memberikan dukungan, pengawasan, atau menerima dampak pembangunan.

2.4.3 Peta Hubungan Stakeholder

Hubungan antar stakeholder bersifat dinamis. Informasi mutu harus mengalir secara cepat agar masalah dapat segera ditangani.



Gambar 2.5 Hubungan Stakeholder Dalam Proyek Konstruksi
Pada diagram tersebut:

1. Owner menjadi pusat pengambilan keputusan strategis.

2. Konsultan menghubungkan aspek desain dan pengawasan.
3. Kontraktor menjadi pelaksana utama pekerjaan.
4. Supplier memastikan ketersediaan material.
5. Laboratorium memverifikasi mutu material.
6. Pemerintah melakukan pengawasan regulasi.
7. Masyarakat menjadi penerima manfaat sekaligus pihak yang dapat memberikan umpan balik.

2.4.4 Peran *Owner* Dalam Manajemen Mutu

Owner merupakan pihak yang menetapkan kebutuhan proyek, menyediakan pembiayaan, menentukan target kualitas, serta menerima hasil pekerjaan. Dalam proyek pemerintah Indonesia, *owner* dapat berupa:

1. Kementerian PUPR,
 2. Pemerintah Provinsi,
 3. Pemerintah Kabupaten/Kota,
 4. BUMN,
 5. perusahaan swasta.
- Owner* bertanggung jawab terhadap:
1. penetapan spesifikasi,
 2. penyediaan anggaran,
 3. persetujuan perubahan,
 4. evaluasi kinerja kontraktor,
 5. penerimaan hasil pekerjaan.

Sebagai contoh ada pembangunan jembatan, *owner* menetapkan bahwa beton harus memiliki kuat tekan minimal 40 MPa. Apabila hasil uji menunjukkan nilai lebih rendah, *owner* berhak meminta tindakan korektif sesuai kontrak. ISO 9001:2026 menempatkan kepemimpinan sebagai elemen utama keberhasilan sistem mutu. Oleh karena itu, *owner* harus menunjukkan komitmen terhadap kualitas sejak awal proyek.

2.4.5 Peran Konsultan

Konsultan perencana bertanggung jawab menghasilkan desain yang memenuhi standar teknis, keamanan, serta kebutuhan pengguna. Kualitas desain sangat menentukan keberhasilan tahap konstruksi. Tugas utama konsultan perencana meliputi:

1. survei,
2. analisis,
3. desain,
4. gambar kerja,
5. spesifikasi teknis.

Sedangkan selama konstruksi, konsultan pengawas memastikan pekerjaan sesuai:

1. gambar,
2. spesifikasi,
3. metode kerja,
4. jadwal mutu.

Konsultan harus memastikan bahwa:

1. dokumen terkendali,
2. perubahan terdokumentasi,

3. inspeksi memiliki bukti objektif,
4. tindakan korektif dilakukan.

2.4.6 Peran Kontraktor

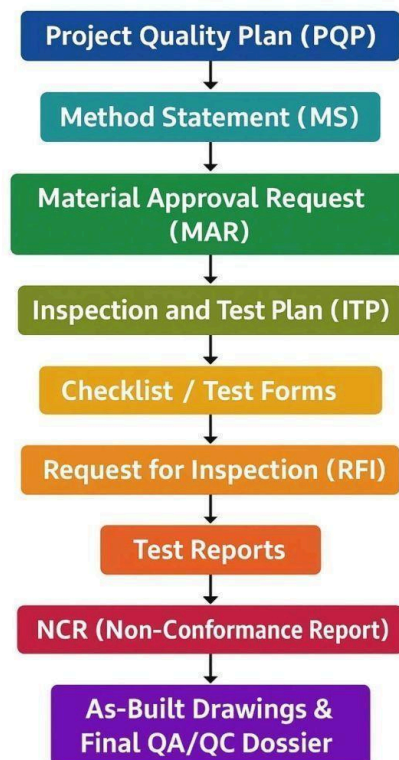
Kontraktor merupakan pihak yang paling banyak berinteraksi dengan aktivitas pengendalian mutu di lapangan. Tanggung jawab utama adalah:

1. melaksanakan pekerjaan,
2. menyusun metode kerja,
3. mengendalikan material,
4. melakukan inspeksi,
5. menyimpan dokumentasi mutu.

Dalam perspektif mutu, kontraktor biasanya memiliki:

1. *Quality Plan*,
2. *Inspection and Test Plan* (ITP),
3. Checklist inspeksi,
4. *Material Approval Request*.

DOCUMENT PREPARATION SEQUENCE



Gambar 2.6 Alur Pengendalian Mutu Kontraktor

Contoh aktivitas pengendalian mutu oleh kontraktor pada pekerjaan pengecoran beton:

1. pemeriksaan bekisting,
2. pemeriksaan tulangan,
3. slump test,
4. pengambilan benda uji,

5. curing.

2.4.7 Peran Supplier

Supplier tidak hanya menjual material, tetapi menjadi bagian penting sistem mutu proyek. Supplier harus mampu menunjukkan:

1. sertifikat mutu,
2. hasil pengujian,
3. dokumen pengiriman,
4. ketertelusuran produk (traceability).

Tabel 2.6 Contoh Dokumen Supplier

Dokumen	Fungsi
<i>Mill Certificate</i>	Baja
<i>Certificate of Analysis</i>	Material kimia
<i>Delivery Order</i>	Pengiriman
<i>Test Report</i>	Bukti mutu

ISO 9001:2026 mengharuskan organisasi mengendalikan penyedia eksternal melalui proses evaluasi yang terdokumentasi.

2.4.8 Peran Laboratorium

Laboratorium menjadi pihak independen yang memverifikasi kualitas material. Laboratorium harus menghasilkan data yang objektif. Hasil pengujian menjadi dasar keputusan seperti:

1. menerima material,
2. menolak material,
3. melakukan perbaikan.

2.4.9 Peran Pemerintah

Pemerintah memiliki fungsi regulasi sekaligus pengawasan. Peran tersebut meliputi:

1. penyusunan standar,
2. penerbitan izin,
3. audit,
4. pengawasan keselamatan,
5. pembinaan jasa konstruksi.

Di Indonesia, regulasi mutu konstruksi didukung oleh:

1. UU Jasa Konstruksi,
2. SNI,
3. regulasi PUPR.

ISO 9001:2026 memperkuat pentingnya kepatuhan terhadap persyaratan hukum sebagai bagian dari sistem mutu.

2.4.10 Peran Masyarakat

Masyarakat sering kali dianggap sebagai stakeholder pasif, padahal mereka merupakan penerima manfaat utama pembangunan. Kontribusi masyarakat dapat berupa:

1. pengawasan sosial,
2. pelaporan kerusakan,

3. masukan terhadap pelayanan.

Sebagai contoh apabila warga melaporkan munculnya retakan pada jalan baru, informasi tersebut menjadi umpan balik penting untuk evaluasi mutu.

2.4.11 Komunikasi Mutu

Komunikasi menjadi salah satu elemen penting dalam ISO 9001:2026. Jalur komunikasi dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 2.7 Komunikasi Mutu

Dari	Kepada
<i>Owner</i>	Konsultan
Konsultan	Kontraktor
Kontraktor	Supplier
Laboratorium	Konsultan
Masyarakat	Pemerintah

Komunikasi harus bersifat:

1. tepat waktu,
2. terdokumentasi,
3. dapat ditelusuri.

Contoh dokumen komunikasi

1. RFI (Request for Information)
2. NCR (Non-Conformance Report)
3. Site Instruction
4. Meeting Minutes

Dokumen tersebut membantu menjaga ketertelusuran keputusan.

2.4.12 Konflik Kepentingan

Perbedaan kepentingan antar *stakeholder* dapat memengaruhi mutu proyek.

Tabel 2.8 Contoh Konflik

Konflik	Dampak
Tekanan percepatan	Mutu turun
Penghematan material	Risiko naik
Desain berubah	<i>Rework</i>

ISO 9001:2026 menyarankan pendekatan berbasis risiko untuk mengelola konflik tersebut. Misalkan sebuah proyek peningkatan jalan mengalami keterlambatan akibat hasil uji kepadatan tanah tidak memenuhi spesifikasi. Maka peran *stakeholder* terlihat pada tabel berikut.

Tabel 2.9 Peran *Stakeholder*

<i>Stakeholder</i>	Tindakan
<i>Owner</i>	Menolak pekerjaan
Konsultan	Memverifikasi hasil
Kontraktor	Melakukan pemadatan ulang
Laboratorium	Menguji kembali

<i>Supplier</i>	Memastikan material
-----------------	---------------------

Kasus ini menunjukkan bahwa kualitas dapat dipulihkan melalui koordinasi yang baik antar stakeholder. Beberapa praktik terbaik yang direkomendasikan meliputi:

1. koordinasi mingguan,
2. dashboard mutu digital,
3. inspeksi bersama,
4. audit internal,
5. pembelajaran dari NCR.

Pendekatan ini memperkuat budaya mutu (*quality culture*) yang menjadi salah satu tujuan implementasi ISO 9001:2026.

2.5 Biaya Kualitas (*Cost of Quality*)

Dalam dunia konstruksi, masih terdapat anggapan bahwa meningkatkan kualitas selalu berarti meningkatkan biaya proyek. Pandangan tersebut tidak sepenuhnya benar. Konsep Biaya Kualitas (*Cost of Quality*/CoQ) justru menunjukkan bahwa investasi pada aktivitas pencegahan dan pengendalian mutu sejak awal dapat menurunkan biaya keseluruhan proyek karena mengurangi pekerjaan ulang (*rework*), klaim, keterlambatan, hingga kegagalan struktur (Love et al., 2021).

ISO 9001:2026 tidak mendefinisikan CoQ sebagai klausul tersendiri, tetapi prinsip-prinsipnya tercermin pada pengendalian proses, pemikiran berbasis risiko (*risk-based thinking*), evaluasi kinerja, dan peningkatan berkelanjutan (*continual improvement*). Organisasi didorong untuk mengukur efektivitas sistem mutu, termasuk konsekuensi finansial dari kegagalan mutu.

Dalam proyek teknik sipil, biaya kualitas tidak hanya berkaitan dengan biaya inspeksi laboratorium, tetapi juga mencakup seluruh biaya yang timbul karena upaya memperoleh kualitas maupun akibat kegagalan mencapainya. Misalnya, biaya pelatihan pekerja, pengujian beton, pembongkaran pekerjaan yang tidak memenuhi spesifikasi, hingga kompensasi kepada pengguna akibat kerusakan jalan merupakan bagian dari CoQ.

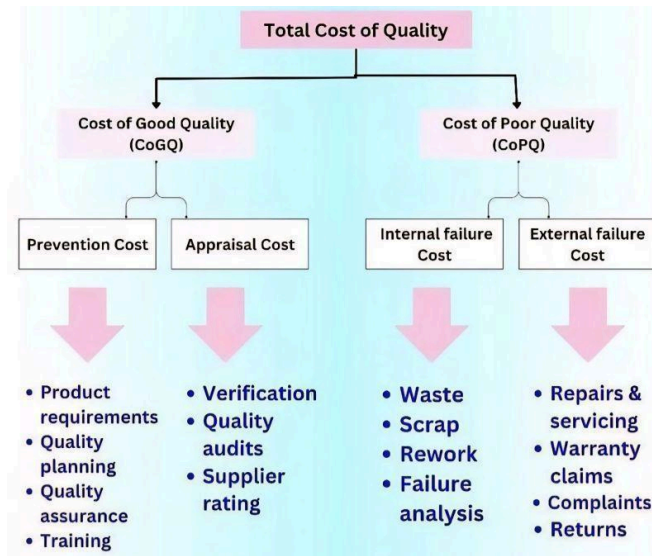
Penelitian Hwang dan Ng (2020) menunjukkan bahwa proyek konstruksi yang menerapkan sistem manajemen mutu secara konsisten memiliki proporsi biaya kegagalan yang jauh lebih rendah dibanding proyek yang hanya mengandalkan inspeksi akhir. Dengan demikian, memahami struktur biaya kualitas menjadi keterampilan penting bagi insinyur sipil, manajer proyek, maupun pengawas lapangan.

2.5.1 Konsep *Cost of Quality*

Cost of Quality merupakan seluruh biaya yang berkaitan dengan pencapaian maupun kegagalan pencapaian mutu suatu produk atau jasa. Konsep ini pertama kali dipopulerkan oleh Joseph M. Juran dan kemudian dikembangkan oleh berbagai organisasi internasional sebagai alat pengambilan keputusan manajemen. Dalam proyek konstruksi, CoQ membantu menjawab pertanyaan berikut.

1. Berapa biaya yang dikeluarkan untuk mencegah cacat?
2. Berapa biaya untuk mendeteksi cacat?
3. Berapa kerugian akibat pekerjaan ulang?
4. Berapa biaya akibat keluhan pelanggan?

Model Empat Kategori CoQ



Gambar 2.7 Model Empat Kategori *Cost Of Quality*

2.5.2 *Prevention Cost* (Biaya Pencegahan)

Prevention cost adalah biaya yang dikeluarkan untuk mencegah terjadinya kesalahan sebelum pekerjaan dilaksanakan. Prinsip ini sejalan dengan pendekatan ISO 9001:2026 yang menekankan pengendalian risiko sejak tahap perencanaan. Contoh *prevention cost*

1. pelatihan pekerja,
2. penyusunan SOP,
3. kalibrasi alat,
4. audit internal,
5. pengembangan metode kerja,
6. simulasi pekerjaan,
7. koordinasi desain.

Tabel 2.10 Contoh *Prevention Cost*

Aktivitas	Tujuan
Pelatihan QC (<i>Quality Control</i>)	Mengurangi kesalahan
Kalibrasi alat	Menjamin akurasi
Audit mutu	Mencegah penyimpangan
Review desain	Menghindari <i>rework</i>

Contoh pada proyek jalan, sebelum pekerjaan pemadatan dimulai, kontraktor melakukan:

1. pelatihan operator *roller*,
2. uji coba pemadatan,
3. pemeriksaan kadar air,
4. verifikasi alat ukur.

Meskipun membutuhkan biaya tambahan di awal, aktivitas tersebut mampu mengurangi risiko kegagalan kepadatan tanah yang dapat menyebabkan pekerjaan ulang. Pendekatan ini menegaskan bahwa kualitas dibangun sejak awal proses, bukan hanya diperiksa setelah pekerjaan selesai.

2.5.3 *Appraisal Cost* (Biaya Penilaian)

Appraisal Cost merupakan biaya yang dikeluarkan untuk menilai apakah pekerjaan telah memenuhi spesifikasi. Aktivitas ini bertujuan mendeteksi penyimpangan sedini mungkin sehingga tindakan korektif dapat segera dilakukan. Contoh *appraisal cost*

1. *slump test*,
2. uji kuat tekan beton,
3. pengujian CBR,
4. inspeksi tulangan,
5. pengukuran elevasi,
6. audit lapangan.

Mengapa *appraisal* penting? Bayangkan sebuah pengecoran kolom dilakukan tanpa *slump test*. Apabila beton ternyata memiliki *workability* yang buruk, maka masalah baru diketahui setelah beton mengeras sehingga biaya perbaikannya menjadi jauh lebih besar.

Menurut Love et al. (2021), inspeksi yang dilakukan secara sistematis mampu menurunkan tingkat pekerjaan ulang pada proyek konstruksi.

2.5.4 *Internal Failure Cost* (Biaya Kegagalan Internal)

Internal failure cost adalah biaya yang timbul akibat kesalahan yang ditemukan sebelum proyek diserahkan kepada pemilik. Meskipun belum berdampak pada pelanggan, biaya ini tetap mengurangi keuntungan proyek. Contoh *internal failure*

1. pembongkaran beton,
2. pengecoran ulang,
3. penggantian material,
4. keterlambatan pekerjaan,
5. tenaga kerja tambahan.

Misalkan terjadi kasus pada pekerjaan fondasi, hasil uji menunjukkan bahwa kuat tekan beton hanya mencapai 22 MPa, sedangkan spesifikasi mensyaratkan 25 MPa. Kontraktor harus melakukan:

1. evaluasi struktur,
2. pengujian tambahan,
3. pembongkaran sebagian,
4. pengecoran ulang.

Biaya yang muncul meliputi:

1. material,
2. tenaga kerja,
3. alat,
4. keterlambatan.

Kasus seperti ini menunjukkan bahwa kegagalan internal sering kali jauh lebih mahal dibanding biaya pencegahan.

2.5.5 *External Failure Cost* (Biaya Kegagalan Eksternal)

External Failure Cost adalah biaya yang muncul setelah pekerjaan diserahkan kepada pelanggan. Kategori ini merupakan biaya paling mahal karena sering disertai:

1. kerusakan reputasi,
2. tuntutan hukum,
3. kehilangan kepercayaan publik.

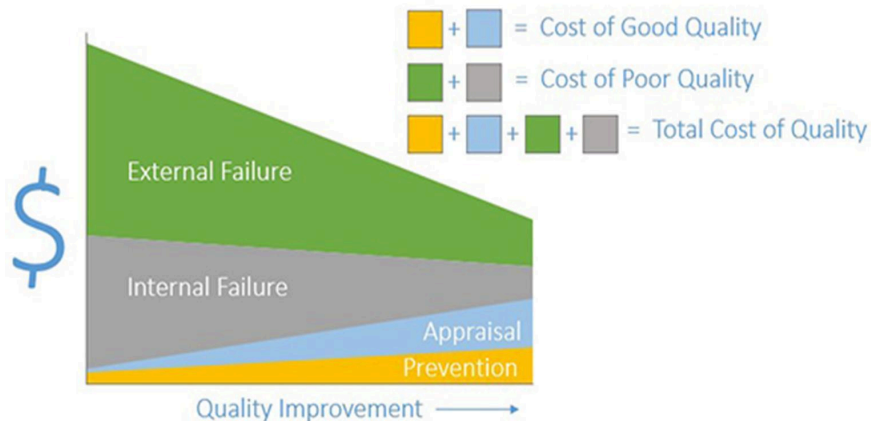
Contoh external failure

1. jalan rusak setelah dibuka,
2. jembatan retak,
3. kebocoran gedung,
4. klaim garansi,
5. kompensasi pengguna.

Menurut PMI (2021), biaya kegagalan eksternal sering kali memiliki konsekuensi tidak langsung yang lebih besar daripada biaya teknisnya sendiri.

2.5.6 Hubungan Antar Komponen CoQ

Hubungan keempat kategori dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.8 Hubungan Investasi Mutu Terhadap Biaya Total Proyek

Grafik menunjukkan bahwa:

1. *Prevention* meningkat,
2. *Appraisal* meningkat,
3. *Internal Failure* menurun,
4. *External Failure* menurun tajam.

Total biaya proyek justru menjadi lebih efisien.

2.5.7 Strategi Mengoptimalkan Biaya Mutu

Beberapa strategi yang direkomendasikan antara lain:

1. Pelatihan Berkelanjutan. Kompetensi pekerja menjadi investasi prevention paling efektif.
2. Digitalisasi QC. Pemanfaatan BIM, drone, IoT, aplikasi inspeksi digital.
3. Audit Internal. Audit berkala membantu mendeteksi penyimpangan sebelum berkembang menjadi kegagalan besar.
4. Analisis Data. ISO 9001:2026 mendorong penggunaan data sebagai dasar pengambilan keputusan.

Contohnya:

1. tren hasil slump,
2. tren kuat tekan,
3. jumlah NCR,
4. waktu penyelesaian tindakan korektif.

BAB 3 EVOLUSI MANAJEMEN MUTU

3.1 Pendahuluan

Manajemen mutu merupakan salah satu disiplin paling berpengaruh dalam perkembangan industri modern. Konsep ini tidak lahir secara instan, tetapi berkembang melalui perjalanan panjang selama lebih dari satu abad. Awalnya, mutu hanya dipahami sebagai kegiatan pemeriksaan (inspection) terhadap produk akhir. Seiring berkembangnya teknologi, statistik, dan ilmu manajemen, pendekatan tersebut berubah menjadi sistem pengendalian proses, manajemen organisasi, hingga budaya mutu yang menjadi inti ISO 9001:2026. (ISO, 2024; ASQ, 2022).

Menurut ISO (2026), kualitas tidak lagi sekadar memastikan produk bebas cacat, melainkan membangun kemampuan organisasi untuk menghasilkan nilai secara konsisten melalui kepemimpinan, budaya mutu, pemanfaatan data digital, serta peningkatan berkelanjutan (*continual improvement*).

Perubahan tersebut sangat relevan bagi dunia konstruksi. Proyek jalan, jembatan, gedung, maupun bendungan saat ini menghadapi tantangan berupa:

1. digitalisasi konstruksi,
2. penggunaan *Building Information Modeling* (BIM),
3. *Internet of Things* (IoT),
4. kecerdasan buatan,
5. rantai pasok global,
6. tuntutan keberlanjutan.

ISO 9001:2026 hadir untuk menjawab tantangan tersebut tanpa mengubah fondasi utama sistem manajemen mutu, yaitu:

1. fokus pelanggan,
2. kepemimpinan,
3. pendekatan proses,
4. pengambilan keputusan berbasis bukti,
5. peningkatan berkelanjutan.

3.2 Evolusi Konsep Mutu dari Masa ke Masa

Perjalanan manajemen mutu dapat dibagi menjadi beberapa fase utama seperti terlihat pada tabel berikut.

Tabel 3.1 Evolusi Manajemen Mutu

Era	Periode	Karakteristik
Inspection	1900–1930	Pemeriksaan produk akhir

Statistical Quality Control	1930–1950	Pengendalian mutu berbasis statistik
Quality Assurance	1950–1980	Pencegahan cacat melalui sistem
Total Quality Management	1980–2000	Keterlibatan seluruh organisasi
ISO Quality Management	2000–2020	Standarisasi internasional
Digital Quality	2020–sekarang	AI, IoT, BIM, analitik data

3.3 Era Inspection (1900–1930)

Pada awal Revolusi Industri, fokus utama perusahaan adalah meningkatkan volume produksi. Mutu belum dianggap sebagai tanggung jawab seluruh organisasi, melainkan hanya tugas bagian pemeriksa (*inspector*). Karakteristik utama

1. pemeriksaan dilakukan setelah produksi selesai,
2. produk cacat dipisahkan,
3. biaya mutu tinggi,
4. pemborosan material besar.

Pada proyek konstruksi, pendekatan ini mirip dengan kondisi ketika mutu beton baru diperiksa setelah pengecoran selesai. Kelemahan pendekatan *inspection*

1. cacat ditemukan terlambat,
2. biaya perbaikan meningkat,
3. penyebab akar masalah tidak diketahui,
4. produktivitas rendah.

Kelemahan tersebut mendorong munculnya pendekatan baru yang lebih ilmiah.

3.4 Walter A. Shewhart: Bapak Statistical Quality Control

Walter Andrew Shewhart (1891–1967) dianggap sebagai tokoh yang merevolusi konsep mutu melalui penggunaan statistik dalam pengendalian proses. Bekerja di Bell Telephone Laboratories pada dekade 1920-an, Shewhart menyadari bahwa variasi produksi merupakan fenomena alami yang dapat diukur secara statistik. Penemuannya menghasilkan dua konsep yang masih digunakan hingga saat ini:

1. *Statistical Quality Control* (SQC)
2. *Control Chart*

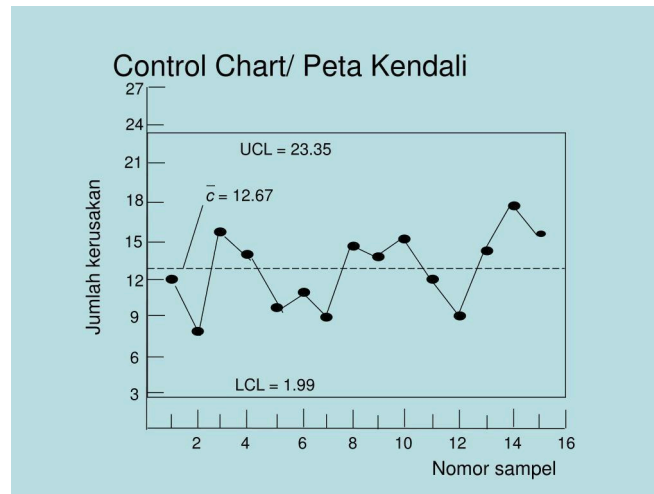
Konsep tersebut kemudian menjadi fondasi bagi Six Sigma, Lean Manufacturing, dan ISO 9001 modern.

3.5 Statistical Quality Control (SQC)

Statistical Quality Control merupakan metode pengendalian mutu menggunakan teknik statistik untuk membedakan variasi normal dan variasi yang disebabkan oleh gangguan. Menurut Montgomery (2020), SQC memungkinkan organisasi mengendalikan proses sebelum menghasilkan cacat sehingga biaya mutu dapat ditekan secara signifikan. (Montgomery, 2020).

3.6 Control Chart

Kontribusi terbesar Shewhart adalah pengembangan *Control Chart*, yaitu grafik yang menunjukkan apakah suatu proses masih berada dalam batas kendali statistik.



Gambar 3.1 *Control Chart* Shewhart

Komponen utama

1. CL (Center Line)
2. UCL (Upper Control Limit)
3. LCL (Lower Control Limit)

Rumus umum:

$$UCL = \bar{x} + 3\sigma$$

$$CL = \bar{x}$$

$$LCL = \bar{x} - 3\sigma$$

Contoh penerapan, misalkan kuat tekan beton target rata-rata = 30 Mpa dan simpangan baku = 2 Mpa, maka $UCL = 36$ Mpa dan $LCL = 24$ Mpa. Apabila hasil pengujian melewati batas tersebut, proses harus diinvestigasi.

Pendekatan ini jauh lebih efektif dibanding menunggu seluruh pekerjaan selesai. Meskipun ISO 9001:2026 tidak mewajibkan penggunaan *control chart* untuk semua organisasi, prinsip Shewhart tetap menjadi fondasi penting melalui:

1. pendekatan proses,
2. pemantauan kinerja,
3. analisis data,
4. tindakan berbasis bukti,
5. peningkatan berkelanjutan.

Hubungan tersebut menunjukkan bahwa konsep yang dikembangkan hampir satu abad lalu masih relevan dalam era digital.

3.7 W. Edwards Deming: Pelopor Revolusi Manajemen Mutu Modern

William Edwards Deming (1900–1993) merupakan salah satu tokoh paling berpengaruh dalam sejarah manajemen mutu. Berbeda dengan Walter Shewhart yang berfokus pada teknik statistik, Deming mengembangkan pendekatan yang menempatkan manusia, kepemimpinan, dan budaya organisasi sebagai faktor utama dalam menghasilkan kualitas. (Oakland, 2021).

Kontribusi Deming menjadi sangat terkenal setelah Perang Dunia II ketika pemerintah Jepang mengundangnya pada tahun 1950 untuk memberikan pelatihan mengenai pengendalian mutu statistik kepada para insinyur dan pimpinan industri. Pada saat itu, industri Jepang mengalami krisis reputasi akibat kualitas produk yang rendah.

Melalui penerapan prinsip-prinsip Deming, perusahaan-perusahaan seperti Toyota, Sony, Nippon Steel, dan Panasonic berhasil membangun budaya kualitas yang kemudian menjadi keunggulan kompetitif global.

Menurut Oakland (2021), keberhasilan Jepang menunjukkan bahwa kualitas bukan sekadar hasil inspeksi, tetapi merupakan konsekuensi dari sistem manajemen yang baik. Konsep ini kemudian memengaruhi perkembangan Total Quality Management (TQM) dan menjadi salah satu fondasi penyusunan standar ISO 9001 hingga edisi terbaru tahun 2026.

Kontribusi utama Deming

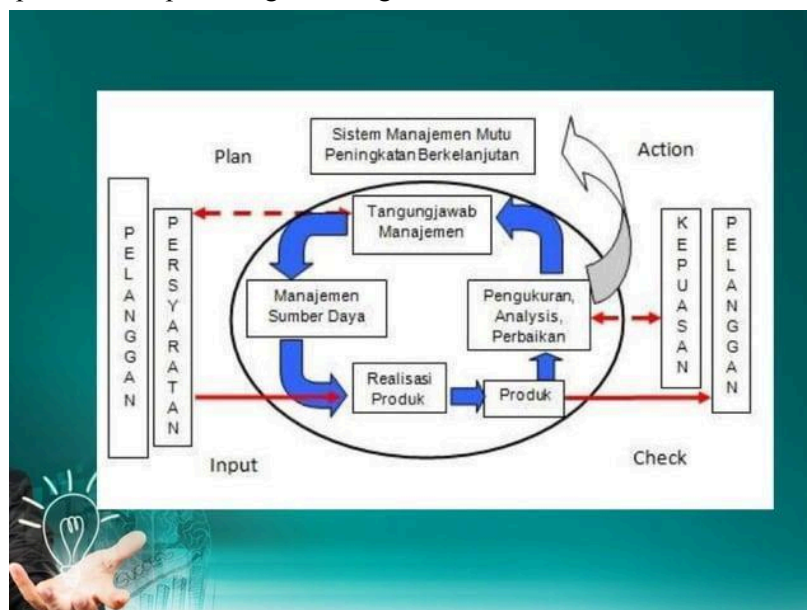
1. memperkenalkan Siklus PDCA sebagai metode peningkatan berkelanjutan;
2. mengembangkan 14 Principles for Management;
3. menekankan pentingnya pengurangan variasi proses;
4. membangun budaya pembelajaran organisasi;
5. memperkenalkan konsep perbaikan sistem secara menyeluruh (System of Profound Knowledge).

Prinsip-prinsip tersebut masih tercermin dalam klausul kepemimpinan, evaluasi kinerja, dan peningkatan pada ISO 9001:2026.

3.8 Filosofi Deming Tentang Mutu

Deming memandang kualitas sebagai hasil dari suatu sistem yang saling terhubung. Ia berpendapat bahwa sebagian besar masalah kualitas berasal dari kelemahan sistem organisasi, bukan semata-mata kesalahan individu.

Konsep tersebut dapat diringkas sebagai berikut.



Gambar 3.2 Filosofi Sistem Mutu Menurut Deming

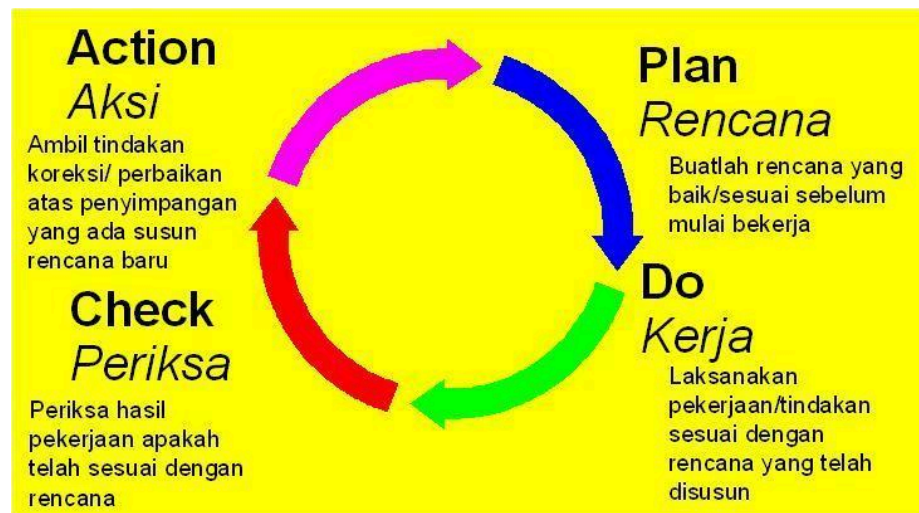
Dalam proyek konstruksi, pendekatan ini berarti bahwa kegagalan mutu beton, keterlambatan pekerjaan, atau tingginya tingkat *rework* tidak boleh langsung disalahkan kepada pekerja lapangan. Sebaliknya, organisasi harus mengevaluasi:

1. prosedur kerja,
2. perencanaan,
3. pelatihan tenaga kerja,

4. koordinasi antar divisi,
5. ketersediaan material,
6. sistem pengawasan.

3.9 Siklus PDCA (*Plan–Do–Check–Act*)

Kontribusi paling terkenal dari Deming adalah popularisasi PDCA Cycle, yang sebenarnya berasal dari gagasan Walter Shewhart dan kemudian dikembangkan menjadi metode manajemen yang dapat diterapkan pada seluruh organisasi. PDCA merupakan mekanisme sistematis untuk melakukan peningkatan berkelanjutan (*continual improvement*). (Oakland, 2021; ISO, 2024).



Gambar 3.3 Siklus PDCA

3.9.1 Plan (Perencanaan)

Tahap pertama bertujuan mengidentifikasi masalah serta merancang solusi sebelum pekerjaan dilaksanakan. Aktivitas utama meliputi:

1. menetapkan sasaran mutu,
2. mengidentifikasi risiko,
3. menentukan indikator kinerja,
4. menyusun prosedur kerja,
5. menetapkan sumber daya.

Contoh proyek jalan dimana target:

1. kepadatan timbunan minimal 95%
2. deviasi elevasi maksimal ± 10 mm

Maka, perencanaan mencakup:

1. jadwal pengujian sand cone,
2. kalibrasi alat,
3. pembagian tanggung jawab.

3.9.2 Do (Pelaksanaan)

Tahap ini merupakan implementasi rencana dalam skala operasional. Kegiatan meliputi:

1. pelaksanaan pekerjaan,
2. pelatihan operator,
3. dokumentasi aktivitas,

4. pengumpulan data mutu.

Pada proyek konstruksi, seluruh hasil pengujian laboratorium mulai dikumpulkan sebagai bukti objektif.

3.9.3 Check (Evaluasi)

Tahap evaluasi membandingkan hasil aktual terhadap target. Indikator yang diperiksa misalnya: kepadatan dengan target $\geq 95\%$, kuat tekan beton dengan target 30 Mpa, dan deviasi elevasi dengan target ± 10 mm. Apabila ditemukan penyimpangan, dilakukan analisis akar penyebab.

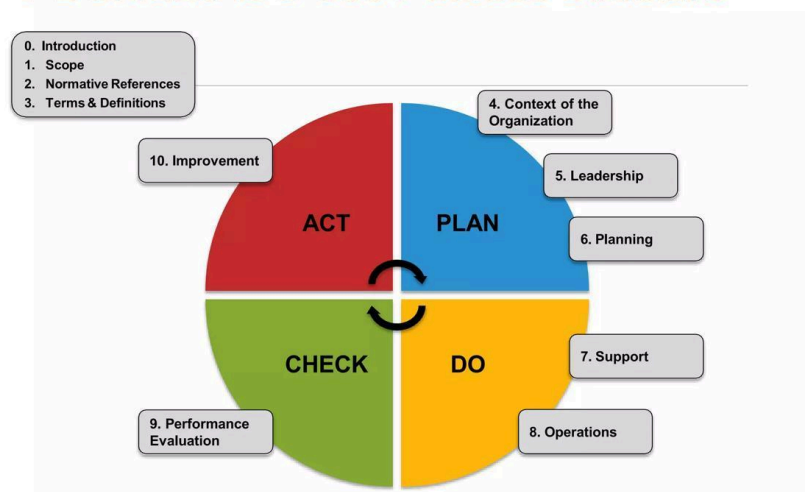
3.9.4 Act (Tindakan Perbaikan)

Tahap terakhir bertujuan memastikan perbaikan menjadi bagian dari sistem organisasi. Kegiatan meliputi:

1. revisi SOP,
2. pelatihan ulang,
3. pembaruan dokumen mutu,
4. standardisasi praktik terbaik.

3.9.5 Hubungan PDCA dengan ISO 9001:2026

PDCA and ISO 9001 Clause Structure



Gambar 3.4 Hubungan PDCA dengan ISO 9001:2026.

3.10 Empat Belas Prinsip Deming

Selain PDCA, Deming mengembangkan 14 *Principles for Management*, yang hingga kini menjadi referensi penting dalam membangun budaya mutu. Berikut penjelasan setiap prinsip beserta contoh penerapannya pada proyek konstruksi.

1. Prinsip 1 Membangun tujuan jangka panjang. Organisasi harus memiliki visi mutu yang konsisten. Contoh Kontraktor menetapkan target menjadi perusahaan dengan tingkat rework di bawah 2%.
2. Prinsip 2 Mengadopsi filosofi baru. Manajemen harus menerima bahwa kualitas merupakan kebutuhan strategis.
3. Prinsip 3 Mengurangi ketergantungan pada inspeksi. Kualitas harus dibangun sejak proses berlangsung. Contoh: Penerapan inspeksi selama pengecoran, bukan setelah beton mengeras.

4. Prinsip 4 Tidak hanya memilih berdasarkan harga. Pemilihan pemasok harus mempertimbangkan kualitas.
5. Prinsip 5 Perbaikan berkelanjutan. Setiap proses harus terus disempurnakan.
6. Prinsip 6 Pelatihan kerja. Operator harus memperoleh pelatihan rutin.
7. Prinsip 7 Kepemimpinan yang mendukung. Supervisor bertugas membantu pekerja berhasil.
8. Prinsip 8 Menghilangkan rasa takut. Pekerja harus berani melaporkan masalah.
9. Prinsip 9 Menghilangkan sekat antar departemen. Kolaborasi lintas fungsi sangat penting.
10. Prinsip 10 Mengurangi slogan kosong. Motivasi harus didukung sistem nyata.
11. Prinsip 11 Menghilangkan target numerik yang tidak realistis. Fokus pada perbaikan proses.
12. Prinsip 12 Menghilangkan hambatan terhadap kebanggaan bekerja. Pekerja perlu dihargai atas kontribusinya.
13. Prinsip 13 Mendorong pendidikan berkelanjutan. Pengembangan kompetensi harus menjadi budaya organisasi.
14. Prinsip 14 Melibatkan seluruh organisasi. Mutu merupakan tanggung jawab semua orang.



Gambar 3.5 Ringkasan 14 Prinsip Deming.

3.11 Joseph M. Juran: Kualitas sebagai Tanggung Jawab Manajemen

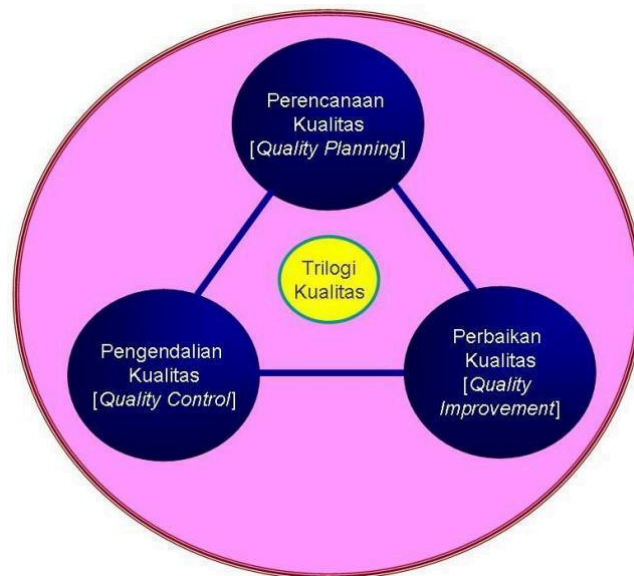
Joseph Moses Juran (1904–2008) merupakan salah satu tokoh paling berpengaruh dalam perkembangan manajemen mutu setelah Walter Shewhart dan W. Edwards Deming. Jika Shewhart menekankan pengendalian statistik dan Deming menitikberatkan pada kepemimpinan serta budaya organisasi, maka Juran memperluas konsep kualitas menjadi tanggung jawab strategis manajemen puncak. (Talapatra & Uddin, 2019; Oakland, 2021).

Juran berpendapat bahwa sebagian besar permasalahan kualitas tidak berasal dari pekerja lapangan, tetapi dari kelemahan sistem manajemen. Oleh karena itu, pimpinan organisasi harus terlibat langsung dalam perencanaan, pengendalian, dan peningkatan kualitas.

Kontribusi utama Juran

1. memperkenalkan Quality Trilogy;
2. mengembangkan konsep Cost of Quality (COQ);
3. menekankan pentingnya perencanaan mutu;
4. memperluas peran manajemen dalam pengambilan keputusan berbasis kualitas.

Konsep paling terkenal dari Juran adalah *Quality Trilogy*, yaitu tiga proses utama yang harus berjalan secara terpadu dalam organisasi.



Gambar 3.6 *Quality Trilogy* Menurut Joseph Juran.

Tiga komponen utama

1. Quality Planning (Perencanaan Mutu)
2. Quality Control (Pengendalian Mutu)
3. Quality Improvement (Peningkatan Mutu)

Ketiga elemen tersebut membentuk siklus yang memastikan kualitas tidak hanya dipertahankan, tetapi terus meningkat.

3.11.1 *Quality Planning*

Perencanaan mutu bertujuan memastikan bahwa proses sejak awal mampu menghasilkan produk sesuai kebutuhan pelanggan. Tahapan utama meliputi:

1. mengidentifikasi pelanggan;
2. memahami kebutuhan pelanggan;

3. menetapkan karakteristik produk;
4. merancang proses;
5. menentukan indikator mutu.

Contoh pada proyek jalan dimana sebelum pekerjaan dimulai, kontraktor menetapkan target seperti terlihat pada tabel berikut.

Tabel 3.2 Contoh Target Pada Proyek Jalan

Aspek	Target
Kuat tekan beton	30 MPa
Kepadatan timbunan	$\geq 95\%$
Deviasi elevasi	± 10 mm

Seluruh target tersebut kemudian diterjemahkan ke dalam *Quality Plan*, *Inspection and Test Plan* (ITP), serta metode kerja proyek.

3.11.2 Quality Control

Pengendalian mutu bertujuan memastikan bahwa pelaksanaan pekerjaan tetap berada dalam batas yang telah direncanakan. Aktivitas meliputi:

1. inspeksi lapangan;
2. pengujian laboratorium;
3. pemantauan indikator kinerja;
4. tindakan korektif.

Pada tahap ini, organisasi menggunakan berbagai alat seperti:

1. *Control Chart*,
2. *Check Sheet*,
3. Histogram,
4. *Pareto Chart*,
5. *Dashboard* Digital.

3.11.3 Quality Improvement

Peningkatan mutu merupakan proses sistematis untuk menghilangkan penyebab utama masalah sehingga kinerja organisasi meningkat secara permanen. Langkah-langkah utama:

1. identifikasi masalah,
2. analisis akar penyebab,
3. implementasi solusi,
4. standardisasi praktik terbaik.

Salah satu kontribusi penting Juran adalah konsep *Cost of Quality* yang sudah disebutkan di bab sebelumnya.

3.12 Philip B. Crosby: Zero Defects

Philip Bayard Crosby (1926–2001) memperkenalkan paradigma yang sangat terkenal, yaitu Zero Defects. Berbeda dengan pendekatan yang menerima tingkat cacat tertentu sebagai hal yang wajar, Crosby menyatakan bahwa organisasi harus membangun sistem yang bertujuan menghasilkan nol cacat. Ia menegaskan bahwa kualitas bukanlah sesuatu yang mahal, “Quality is Free.” Makna pernyataan tersebut adalah bahwa investasi pada pencegahan jauh lebih murah dibandingkan biaya memperbaiki kegagalan. (Oakland, 2021).

Crosby merumuskan empat prinsip utama.

1. Absolut 1 Kualitas adalah kesesuaian terhadap persyaratan. Artinya, kualitas tidak ditentukan oleh kemewahan produk, tetapi oleh kemampuannya memenuhi spesifikasi.
2. Absolut 2 Sistem kualitas adalah pencegahan. Fokus utama harus berpindah dari inspeksi menuju pencegahan.
3. Absolut 3 Standar kinerja adalah *Zero Defects*. Organisasi harus membangun budaya kerja yang meminimalkan kesalahan sejak awal.
4. Absolut 4 Ukuran kualitas adalah biaya ketidaksesuaian. Semakin besar biaya kegagalan, semakin buruk kualitas organisasi.

Pada proyek konstruksi, *Zero Defects* bukan berarti tidak akan pernah terjadi kesalahan, tetapi membangun sistem yang meminimalkan peluang kesalahan. Contoh penerapannya seperti terlihat pada tabel berikut:

Tabel 3.3 Penerapan Zero Defects Pada Konstruksi

Aktivitas	Pencegahan
Pembesian	Checklist sebelum pengecoran
Beton	Trial Mix
Aspal	Kalibrasi AMP
Struktur baja	NDT sebelum pemasangan

Pendekatan tersebut mampu menurunkan:

1. rework,
2. keterlambatan,
3. pemborosan material,
4. biaya klaim.

3.13 Dari Quality Assurance Menuju Total Quality Management

Memasuki dekade 1980-an, organisasi mulai menyadari bahwa kualitas tidak cukup hanya dikendalikan melalui inspeksi atau pengujian. Muncullah konsep *Quality Assurance* (QA). Perbedaan dengan Quality Control (QC) dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 3.4 Perbedaan QC dan QA

Aspek	QC	QA
Fokus	Produk	Sistem
Waktu	Setelah proses	Sebelum proses
Tujuan	Menemukan cacat	Mencegah cacat
Pendekatan	Inspeksi	Perencanaan

Quality Assurance kemudian berkembang menjadi *Total Quality Management* (TQM).

3.14 Total Quality Management (TQM)

TQM merupakan filosofi manajemen yang menempatkan kualitas sebagai tanggung jawab seluruh organisasi. Karakteristik TQM (Oakland, 2021; Talapatra & Uddin, 2019).

1. fokus pelanggan;
2. keterlibatan seluruh pegawai;
3. kepemimpinan yang kuat;
4. perbaikan berkelanjutan;
5. pengambilan keputusan berbasis data.

Penerapan TQM pada proyek konstruksi melibatkan seluruh pemangku kepentingan. Pendekatan kolaboratif ini sangat sejalan dengan prinsip Relationship Management pada ISO 9001:2026.

3.15 Hubungan Juran, Crosby, dan ISO 9001:2026

ISO 9001:2026 mengintegrasikan berbagai pemikiran tokoh mutu ke dalam satu sistem yang lebih komprehensif.

Tabel 3.5 Integrasi Tokoh Mutu dengan ISO 9001:2026

Tokoh	Konsep	Implementasi ISO
Shewhart	<i>Control Chart</i>	Monitoring
Deming	PDCA	<i>Process Approach</i>
Juran	<i>Trilogy</i>	<i>Planning–Control–Improvement</i>
Crosby	<i>Zero Defects</i>	<i>Prevention</i>

Contoh kasus untuk mengurangi *Rework* pada proyek gedung dimana kondisi awal sebuah gedung bertingkat mengalami:

1. *rework* kolom beton: 8%;
2. keterlambatan: 12 hari.

Pendekatan Juran

Tim menyusun:

1. *Quality Planning* baru;
2. inspeksi harian;
3. analisis *Cost of Quality*.

Pendekatan Crosby

Ditambahkan:

1. *checklist Zero Defects*;
2. briefing sebelum pengecoran;
3. verifikasi bekisting.

3.16 Transformasi dari TQM Menuju ISO 9001

Setelah berkembangnya *Total Quality Management* (TQM) pada dekade 1980-an, dunia industri menghadapi tantangan baru berupa globalisasi perdagangan. Perusahaan tidak lagi hanya bersaing di pasar domestik, tetapi juga harus memenuhi persyaratan mutu lintas negara. Kondisi tersebut mendorong kebutuhan akan standar internasional yang dapat digunakan sebagai bahasa bersama dalam menjamin kualitas.

International Organization for Standardization (ISO) kemudian mengembangkan seri ISO 9000, yang pertama kali diterbitkan pada tahun 1987. Berbeda dengan TQM yang bersifat filosofis, ISO 9001 menyediakan persyaratan yang dapat diaudit sehingga organisasi dapat menunjukkan bukti objektif bahwa sistem manajemen mutunya berjalan secara konsisten.

3.16 Sejarah Perkembangan ISO 9001

Perjalanan ISO 9001 menunjukkan bagaimana konsep mutu terus menyesuaikan diri terhadap perubahan lingkungan bisnis dan teknologi.

Tabel 3.6 Evolusi ISO 9001

Tahun	Perubahan Utama
1987	Standar pertama berbasis dokumentasi
1994	Pencegahan tindakan korektif
2000	Pendekatan proses
2008	Penyempurnaan persyaratan
2015	Risk-Based Thinking
2026	Digitalisasi, AI, Resilience

3.17 ISO 9001:2026 sebagai Evolusi Terbaru Manajemen Mutu

ISO 9001:2026 mempertahankan struktur dasar edisi 2015, namun memperkenalkan sejumlah penyempurnaan penting agar lebih relevan dengan era digital. Fokus utama ISO 9001:2026 (ISO, 2024).

1. transformasi digital,
2. tata kelola data,
3. etika penggunaan AI,
4. ketahanan organisasi,
5. pengelolaan perubahan,
6. keberlanjutan proses.

Menurut ISO (2026), organisasi modern harus mampu mengelola kualitas tidak hanya melalui prosedur kerja, tetapi juga melalui pemanfaatan teknologi digital yang bertanggung jawab.

3.18 Prinsip Manajemen Mutu pada ISO 9001:2026

ISO 9001:2026 tetap mempertahankan tujuh prinsip manajemen mutu sebagai fondasi sistem.



Gambar 3.7 Tujuh Prinsip Manajemen Mutu ISO 9001:2026.

Tujuh prinsip tersebut meliputi:

1. Fokus pada pelanggan
2. Kepemimpinan
3. Keterlibatan orang
4. Pendekatan proses
5. Perbaikan berkelanjutan
6. Pengambilan keputusan berbasis bukti
7. Manajemen hubungan

Ketujuh prinsip tersebut merupakan hasil evolusi pemikiran Shewhart, Deming, Juran, dan Crosby yang telah dibahas pada bagian sebelumnya.

3.19 *Digital Quality*: Evolusi Mutu pada Era Industri 4.0

Memasuki dekade 2020-an, perkembangan teknologi mengubah cara organisasi mengelola kualitas. Digital Quality merupakan pendekatan yang memanfaatkan teknologi digital untuk meningkatkan efektivitas sistem mutu. Teknologi utama yang digunakan terlihat pada tabel berikut (Sacks et al., 2021; Kementerian PUPR, 2023).

Tabel 3.7 Teknologi Utama *Digital Quality*

Teknologi	Fungsi
BIM	Integrasi desain
IoT	Monitoring real-time
AI	Prediksi kegagalan
Drone	Inspeksi visual
Cloud	Dokumentasi
Dashboard	Monitoring KPI

Studi kasus penggunaan *digital quality* pada proyek jalan, dimana kondisi awal proyek mengalami:

1. keterlambatan pelaporan,

2. inspeksi manual,
 3. rework tinggi.
- Solusi tim menerapkan:
1. BIM,
 2. drone,
 3. IoT,
 4. dashboard mutu.

3.20 Tantangan Implementasi Digital Quality di Indonesia

Walaupun potensinya besar, implementasi *Digital Quality* masih menghadapi beberapa kendala. Tantangan utama berupa

1. investasi teknologi,
2. kompetensi SDM,
3. integrasi data,
4. keamanan siber,
5. budaya organisasi.

ISO 9001:2026 menekankan bahwa transformasi digital harus disertai pengelolaan perubahan (*change management*) agar organisasi mampu beradaptasi tanpa mengganggu efektivitas sistem mutu.

3.21 Kompetensi SDM pada Era Digital Quality

Transformasi mutu menuntut kompetensi baru bagi tenaga kerja Teknik Sipil.



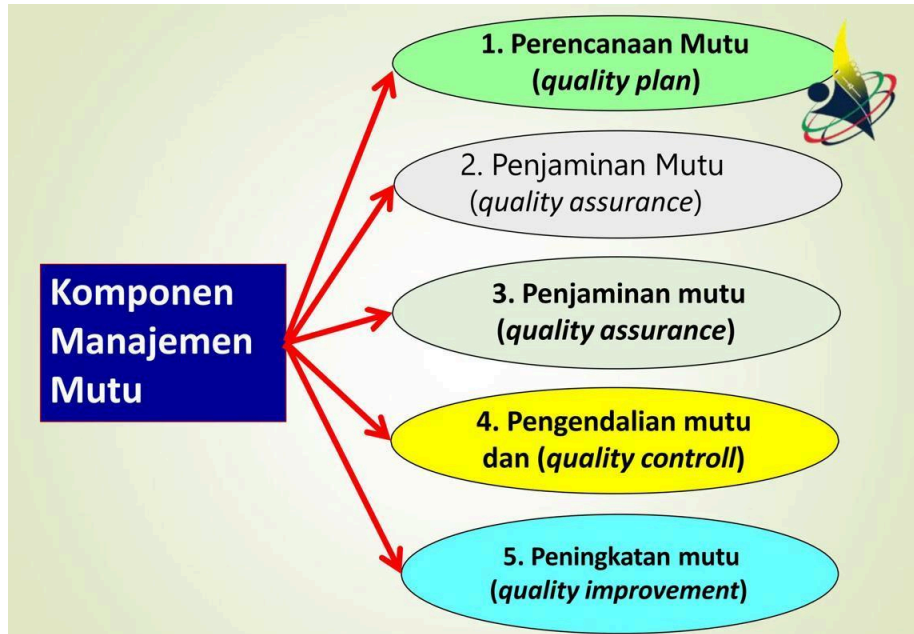
Gambar 3.8 Kompetensi SDM Pada Era *Digital Quality*

Tabel 3. 8 Kompetensi Utama

Kompetensi	Relevansi
BIM	Koordinasi proyek
Data Analytics	Analisis KPI
AI Literacy	Analisis mutu

Risk Management	Implementasi ISO
Komunikasi	Kolaborasi lintas fungsi

3.22 Pelajaran Penting dari Evolusi Manajemen Mutu



Gambar 3.9 Pelajaran Penting Evolusi Mutu

BAB 4 ISO 9001:2026

4.1 Pendahuluan

ISO 9001 merupakan standar internasional yang paling luas digunakan untuk membangun Sistem Manajemen Mutu (*Quality Management System/QMS*) dan diterapkan oleh organisasi di berbagai sektor (International Organization for Standardization [ISO], 2026). Standar ini diterapkan oleh lebih dari satu juta organisasi di berbagai sektor, mulai dari manufaktur, rumah sakit, universitas, hingga perusahaan konstruksi (ISO, 2026).

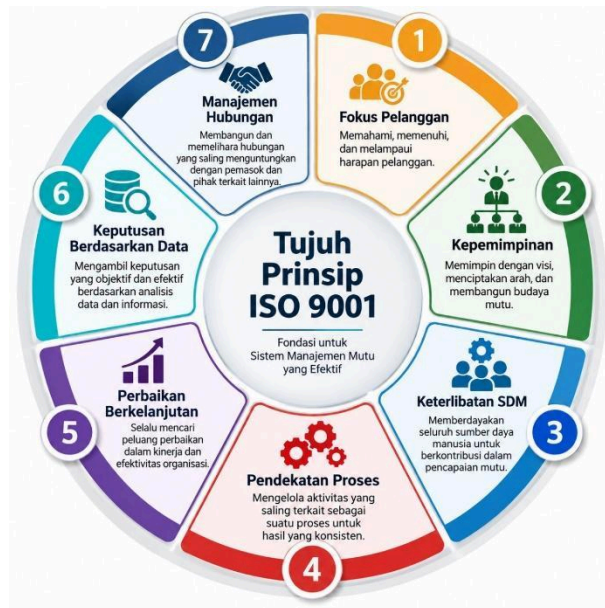
Pada tanggal 16 September 2026, ISO secara resmi menerbitkan ISO 9001:2026 (Edition 6)... (ISO, 2026) yang menggantikan ISO 9001:2015. Revisi ini tidak mengubah filosofi dasar sistem manajemen mutu, tetapi memperkuat relevansi standar terhadap tantangan organisasi modern seperti digitalisasi, kompleksitas rantai pasok, perubahan iklim, budaya mutu, dan pengambilan keputusan strategis.

Perubahan lingkungan bisnis mendorong revisi karena organisasi saat ini menghadapi:

1. transformasi digital,
2. otomatisasi,
3. AI dan analitik data,
4. rantai pasok global,
5. tuntutan keberlanjutan,
6. perubahan ekspektasi pelanggan.

4.2 Tujuh Prinsip Manajemen Mutu

ISO 9001:2026 mempertahankan tujuh prinsip manajemen mutu sebagai landasan penerapan sistem manajemen mutu modern (ISO, 2026).



Gambar 4.1 Tujuh Prinsip Manajemen Mutu

4.2.1 Customer Focus

Pelanggan merupakan alasan utama organisasi menjalankan sistem mutu. Pada proyek konstruksi, meningkatkan kepuasan pelanggan (ISO, 2026) dapat berupa:

1. pemerintah,
2. pengembang,
3. kontraktor utama,
4. pengguna akhir.

ISO menekankan bahwa organisasi harus:

1. memahami kebutuhan pelanggan,
2. mengantisipasi kebutuhan masa depan,
3. meningkatkan kepuasan.

Sebagai contoh ada proyek jalan nasional:

1. mutu aspal memenuhi spesifikasi,
2. waktu penyelesaian sesuai kontrak,
3. keluhan pengguna jalan ditindaklanjuti.

4.2.2 Leadership



Gambar 4.2 Profil *Leadership*

Sebagai contoh, seorang Project Manager harus bisa memastikan tindakan koreksi dijalankan (ISO, 2026) dengan cara:

1. melakukan *toolbox meeting*,
2. meninjau KPI mutu,
3. memastikan tindakan koreksi dijalankan.

4.2.3 *Engagement of People*

Mutu tidak hanya dihasilkan oleh manajemen. Seluruh personel harus berpartisipasi dalam pencapaian sasaran mutu (ISO, 2026) dengan syarat:

1. kompeten,
2. sadar mutu,
3. berpartisipasi.

Pada proyek konstruksi personil yang memiliki kontribusi mutu pekerjaan antara lain:

1. operator alat,
2. surveyor,
3. laboran,
4. pengawas lapangan,

4.2.4 *Process Approach*

Pendekatan proses adalah mengelola organisasi sebagai sistem yang saling terhubung (ISO, 2026). Contoh proyek jalan:

1. Perencanaan
2. Pengadaan material
3. Pengujian laboratorium
4. Pelaksanaan

5. Pengawasan
 6. Serah terima
- Output* satu proses menjadi *input* proses berikutnya.

4.2.5 Improvement

Perbaikan berkelanjutan tetap menjadi inti ISO melalui penerapan siklus PDCA, analisis akar penyebab, dan tindakan koreksi (ISO, 2026; Project Management Institute [PMI], 2021). Metode yang umum digunakan:

1. PDCA
2. *Root Cause Analysis*
3. *Corrective Action*

4.2.6 Evidence-Based Decision Making

Keputusan harus didukung oleh data yang valid dan dapat diverifikasi (ISO, 2026). Contoh indikator proyek:

1. kuat tekan beton,
2. kepadatan tanah,
3. tingkat *rework*,
4. waktu penyelesaian.

4.2.7 Relationship Management

Organisasi harus membangun hubungan yang saling menguntungkan dengan:

1. pemasok,
2. subkontraktor,
3. regulator,
4. konsultan.

Hubungan dengan pemasok, subkontraktor, regulator, dan konsultan perlu dikelola secara sistematis (ISO, 2026). Pada proyek konstruksi, sebagai contoh pemasok agregat dan beton harus dievaluasi secara berkala.

4.3 Struktur ISO 9001:2026

Harmonized structure memudahkan integrasi ISO 9001 dengan sistem manajemen keselamatan kerja seperti ISO 45001 sehingga organisasi dapat mengelola mutu dan keselamatan secara terpadu (ISO, 2026; ISO, 2018) seperti:

1. ISO 14001
2. ISO 45001
3. ISO 50001

4.3.1 Klausul 4 — Context of the Organization

Organisasi harus memahami konteks internal dan eksternal yang memengaruhi kemampuan mencapai sasaran mutu (ISO, 2026). Faktor internal antara lain:

1. kompetensi SDM
2. teknologi
3. budaya organisasi

Faktor eksternal antara lain:

1. regulasi

2. ekonomi
3. iklim
4. persaingan

Contoh pihak kontraktor di Kalimantan harus mempertimbangkan:

1. tanah gambut,
2. curah hujan tinggi,
3. logistik material.

4.3.2 Klausul 5 — *Leadership*

Pimpinan harus menetapkan kebijakan mutu..... (ISO, 2026):

1. memastikan sumber daya tersedia,
2. mendorong budaya mutu,
3. mengevaluasi kinerja sistem.

Sebagai contoh pimpinan menetapkan kebijakan mutu proyek yang "Menyelesaikan proyek tepat mutu, tepat waktu, aman, dan berkelanjutan."

4.3.3 Klausul 6 — *Planning*



Gambar 4.3 Skema *Planning*

Perencanaan bertujuan memastikan organisasi mampu mencapai sasaran mutu melalui pendekatan berbasis risiko (*risk-based thinking*) (ISO, 2026)

4.3.4 Klausul 7 — *Support*

Klausul ini mengatur kompetensi, komunikasi, dan informasi terdokumentasi (ISO, 2026). Contoh:

1. kompetensi,
2. kesadaran,
3. komunikasi,
4. informasi terdokumentasi.

Dan dokumen seperti:

1. SOP
2. ITP
3. Form inspeksi
4. Laporan laboratorium

4.3.5 Klausul 8 — *Operation*

Pengendalian operasi mencakup desain, pengadaan, pelaksanaan, dan pengendalian ketidaksesuaian (ISO, 2026). Ini merupakan klausul terbesar. Mencakup:

1. perencanaan operasi,
2. desain,
3. pengadaan,
4. pelaksanaan,
5. pengendalian hasil tidak sesuai.

Contoh pada proyek jalan dengan alur mutu:

1. Material datang
2. Uji laboratorium
3. Produksi AMP
4. Penghamparan
5. Uji kepadatan
6. Dokumentasi

4.3.6 Klausul 9 — *Performance Evaluation*

Evaluasi kinerja dilakukan melalui monitoring, audit internal, dan tinjauan manajemen sesuai pedoman audit sistem manajemen (ISO, 2026; ISO, 2018). Organisasi harus mengevaluasi efektivitas sistem mutu. Komponen evaluasi meliputi:

1. monitoring,
2. audit internal,
3. review manajemen.

4.3.7 Klausul 10 — *Improvement*

Peningkatan dilakukan melalui identifikasi masalah, analisis akar penyebab, tindakan koreksi, dan evaluasi efektivitas (ISO, 2026; PMI, 2021). Peningkatan merupakan tahap akhir siklus PDCA. Tahapan:

1. identifikasi masalah,
2. analisis akar penyebab,
3. tindakan koreksi,
4. evaluasi efektivitas.

Contoh jika ditemukan retak beton:

1. investigasi,
2. koreksi metode *curing*,
3. pelatihan ulang pekerja.

4.4 Penerapan ISO 9001:2026 Pada Teknik Sipil

Implementasi ISO 9001:2026 pada proyek konstruksi dilakukan melalui analisis kesenjangan, penyusunan SOP, pelatihan, audit internal, dan sertifikasi (ISO, 2026; ISO, 2018). Tahapan Implementasi ISO 9001: 2026 pada proyek konstruksi

1. Analisis gap.
2. Penyusunan SOP.
3. Pelatihan.
4. Audit internal.
5. Sertifikasi.

Contoh pada proyek jalan dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 4.1 Dokumen ISO 9001: 2026

Tahap	Dokumen
Persiapan	Quality Plan
Material	ITP
Pelaksanaan	Checklist
Pengujian	Laporan Lab
Serah Terima	Final Quality Report

Studi kasus pembangunan jalan pada tanah lunak kalimantan dengan masalah

1. penurunan tanah,
2. material terlambat,
3. hujan tinggi.

Tabel 4.2 Penerapan ISO Pada Proyek Jalan

Klausul	Implementasi
4	Analisis kondisi gambut
5	Komitmen pimpinan
6	Risiko hujan
7	Pelatihan QC
8	Pengujian PVD
9	Audit mutu
10	Perbaikan metode

Hasil implementasi:

1. rework menurun,
2. dokumentasi lebih baik,
3. kepuasan pengguna meningkat.

BAB 5 SISTEM MANAJEMEN MUTU PROYEK

5.1 Pendahuluan

Keberhasilan suatu proyek konstruksi tidak hanya ditentukan oleh penyelesaian pekerjaan tepat waktu dan sesuai anggaran, tetapi juga oleh kemampuan organisasi dalam menghasilkan mutu yang konsisten. Pada proyek konstruksi modern, kualitas tidak lagi dipahami sebagai hasil pemeriksaan akhir, melainkan merupakan hasil dari sistem yang dirancang sejak tahap perencanaan hingga serah terima proyek.

ISO 9001:2026 mendefinisikan sistem manajemen mutu sebagai sekumpulan proses yang saling berhubungan untuk memastikan organisasi mampu memenuhi persyaratan pelanggan, persyaratan peraturan, serta meningkatkan kepuasan pelanggan melalui

perbaikan berkelanjutan (ISO, 2026). Revisi tahun 2026 memperkuat peran kepemimpinan, budaya mutu, perilaku etis, serta pemisahan yang lebih jelas antara pengelolaan risiko dan peluang.

Dalam proyek konstruksi, sistem tersebut diwujudkan melalui berbagai dokumen mutu yang menjadi bukti bahwa setiap aktivitas telah direncanakan, dikendalikan, diverifikasi, dan dievaluasi secara sistematis.

5.2 Konsep Sistem Manajemen Mutu Proyek

Sistem Manajemen Mutu (QMS) merupakan kerangka kerja yang mengintegrasikan seluruh aktivitas organisasi agar menghasilkan pekerjaan yang memenuhi spesifikasi teknis serta meningkatkan kinerja organisasi melalui pendekatan proses (ISO, 2026; Oakland & Marosszeky, 2017).

Menurut ISO 9001:2026, QMS dibangun berdasarkan tujuh prinsip manajemen mutu:

1. Fokus pada pelanggan.
2. Kepemimpinan.
3. Keterlibatan orang.
4. Pendekatan proses.
5. Perbaikan.
6. Pengambilan keputusan berbasis bukti.
7. Manajemen hubungan.

Ketujuh prinsip tersebut menjadi fondasi penerapan QMS pada berbagai sektor, termasuk konstruksi, karena terbukti meningkatkan efektivitas proses, kepuasan pelanggan, dan pengambilan keputusan berbasis bukti (ISO, 2026; Zeng et al., 2017).

Pada proyek konstruksi, prinsip tersebut diterjemahkan ke dalam pengendalian material, tenaga kerja, metode kerja, alat, lingkungan kerja, dokumentasi, dan evaluasi kinerja proyek.



Gambar 5.1 Konsep Sistem Manajemen Mutu Proyek Berdasarkan Pendekatan Proses ISO 9001

5.3 Hierarki Dokumen Mutu

Dokumen mutu memiliki struktur bertingkat sehingga setiap dokumen saling mendukung. Urutan dokumen adalah:

1. *Quality Policy*
2. *Quality Manual*
3. *Quality Plan*
4. *Method Statement*
5. *Inspection and Test Plan (ITP)*
6. Rekaman mutu termasuk NCR.

Semakin ke bawah, dokumen semakin operasional dan spesifik terhadap pekerjaan lapangan. Hierarki dokumen mutu memastikan bahwa kebijakan strategis dapat diterjemahkan menjadi prosedur operasional dan bukti objektif pelaksanaan pekerjaan sehingga memudahkan audit internal maupun eksternal (Oakland & Marosszeky, 2017).

5.3.1 *Quality Policy (Kebijakan Mutu)*

Quality policy merupakan pernyataan resmi manajemen puncak mengenai komitmen organisasi terhadap mutu. ISO 9001:2026 menegaskan bahwa kebijakan mutu harus:

1. selaras dengan konteks organisasi,
2. mendukung arah strategis,
3. menjadi dasar sasaran mutu,
4. dikomunikasikan,
5. dipahami,
6. diterapkan di seluruh organisasi.

Kebijakan mutu berfungsi untuk:

1. membangun budaya mutu,
2. meningkatkan kesadaran seluruh personel,
3. menjadi pedoman pengambilan keputusan,
4. menunjukkan komitmen kepada pelanggan.

Contoh *quality policy* adalah sebagai berikut "PT XYZ berkomitmen menghasilkan pekerjaan konstruksi yang memenuhi spesifikasi teknis, persyaratan pelanggan, peraturan yang berlaku, serta meningkatkan efektivitas sistem manajemen mutu melalui kepemimpinan, budaya mutu, inovasi, dan perbaikan berkelanjutan."

Kebijakan mutu yang dikomunikasikan secara efektif berkontribusi terhadap pembentukan budaya mutu dan peningkatan keterlibatan personel dalam pencapaian sasaran organisasi (ISO, 2026; Kim et al., 2020).

5.3.2 *Quality Manual*

Quality manual adalah dokumen tingkat kedua yang menjelaskan bagaimana organisasi menerapkan sistem manajemen mutu. Walaupun ISO 9001:2026 tidak lagi mewajibkan bentuk tertentu untuk *quality manual*, banyak organisasi konstruksi tetap mempertahankannya sebagai dokumen induk karena mempermudah implementasi dan audit (ISO, 2026). Isi *quality manual* umumnya meliputi:

1. profil perusahaan,
2. ruang lingkup QMS,
3. konteks organisasi,
4. struktur organisasi,
5. interaksi proses,
6. tanggung jawab,
7. referensi prosedur.

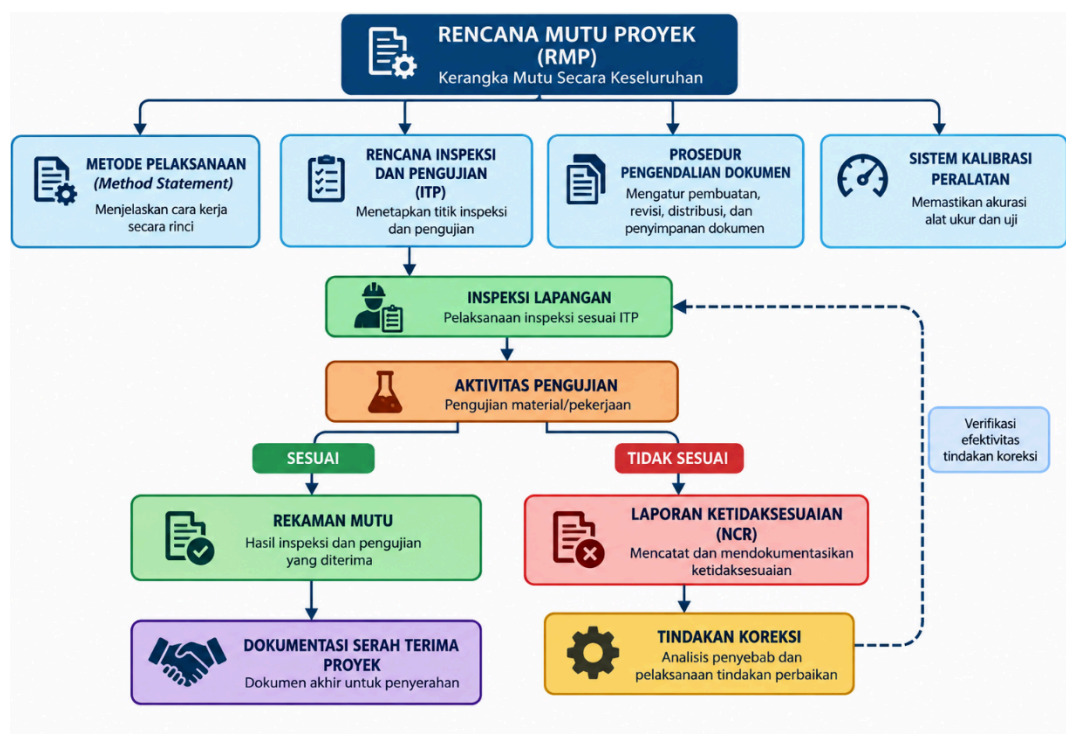
5.3.3 Quality Plan

Quality plan menjadi dokumen utama pada tingkat proyek karena menghubungkan persyaratan kontrak, standar teknis, metode pelaksanaan, serta mekanisme inspeksi sehingga risiko ketidaksesuaian dapat diminimalkan sejak awal proyek (Forcada et al., 2017; Oakland & Marosszeky, 2017). Berbeda dengan *quality manual* yang bersifat perusahaan, *quality plan* bersifat spesifik terhadap proyek. *Quality plan* bertujuan:

1. memastikan seluruh pekerjaan memiliki metode pengendalian,
2. menetapkan tanggung jawab,
3. menentukan titik inspeksi,
4. mengurangi risiko kegagalan mutu.

Komponen *quality plan* biasanya meliputi:

1. tujuan mutu proyek,
2. organisasi proyek,
3. daftar pekerjaan,
4. standar acuan,
5. prosedur inspeksi,
6. jadwal audit,
7. pengendalian dokumen.



Gambar 5.2 Penyusunan *Quality Plan*

5.3.4 Method Statement

Method statement adalah dokumen yang menjelaskan langkah-langkah pelaksanaan suatu pekerjaan secara rinci. *Method statement* merupakan instrumen penting dalam menjamin konsistensi pelaksanaan pekerjaan karena mendefinisikan urutan kerja, pengendalian mutu, serta aspek keselamatan secara rinci (Forcada et al., 2017). Dokumen

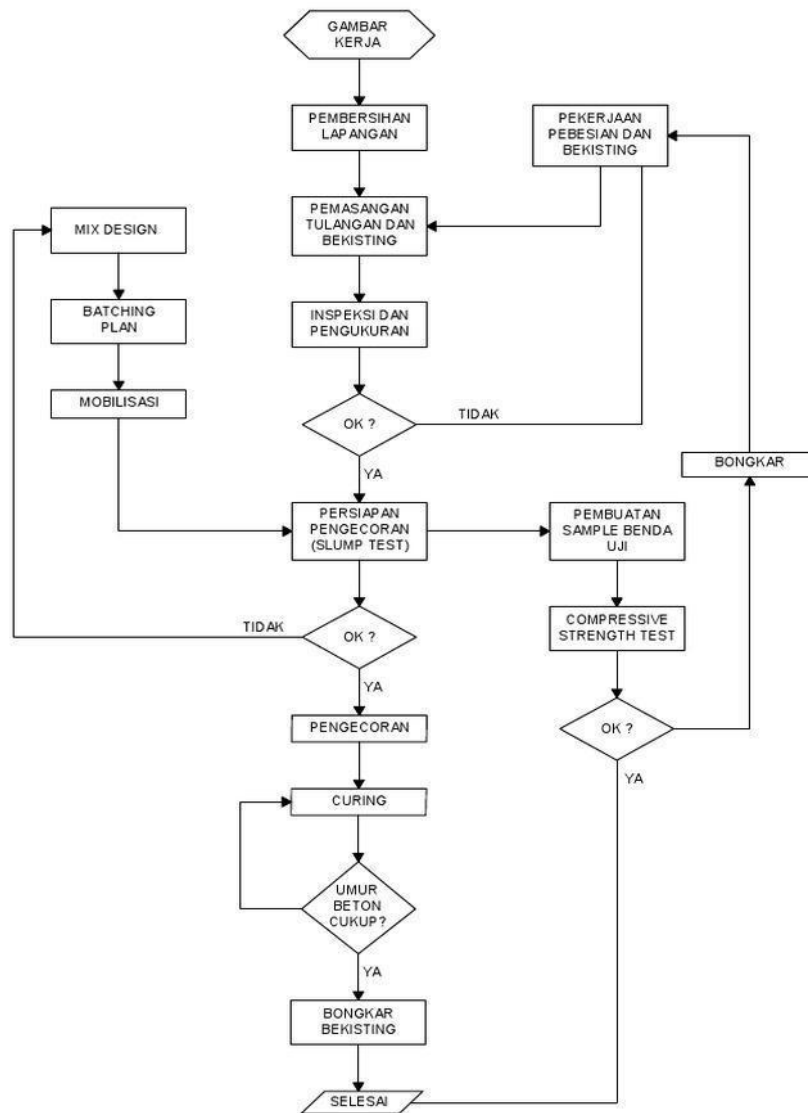
ini menjadi jembatan antara gambar kerja dan pelaksanaan lapangan. *Method statement* digunakan untuk:

1. menjelaskan urutan kerja,
2. memastikan keselamatan,
3. menjamin kualitas,
4. memudahkan supervisi.

Struktur *method statement* umumnya terdiri dari:

1. Lingkup pekerjaan.
2. Referensi.
3. Peralatan.
4. Material.
5. Personel.
6. Tahapan kerja.
7. Pengendalian mutu.
8. Keselamatan kerja.

Contoh *method statement* untuk tahapan pengecoran beton dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 5.3 Contoh *Method Statement* Pekerjaan Beton

5.3.5 *Inspection and Test Plan (ITP)*

Inspection and Test Plan (ITP) merupakan dokumen yang menentukan kapan inspeksi dilakukan, siapa yang melakukan, serta kriteria penerimaannya. ITP merupakan alat utama pengendalian mutu lapangan. ITP memastikan bahwa:

1. setiap tahapan diverifikasi,
2. pekerjaan tidak dilanjutkan sebelum lolos inspeksi,
3. bukti mutu terdokumentasi.

Simbol umum ITP adalah H (*Hold Point*), W (*Witness Point*), R (*Review*) dan S (*Surveillance*).

Penerapan ITP memungkinkan setiap tahapan pekerjaan diverifikasi sebelum dilanjutkan sehingga kualitas hasil konstruksi lebih terjamin dan bukti inspeksi terdokumentasi dengan baik (ISO, 2026; Zeng et al., 2017). Contoh ITP pada proyek konstruksi dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 5.1 Contoh ITP Pengecoran Beton

Tahap	Pemeriksaan	Hold/Witness
Bekisting	Dimensi	H
Tulangan	Diameter	H
Slump Test	Nilai slump	W
Kuat tekan	Uji silinder	R

5.3.6 Non-Conformance Report (NCR)

NCR adalah dokumen resmi yang mencatat ketidaksesuaian terhadap spesifikasi. ISO 9001:2026 tetap mempertahankan pengendalian output yang tidak sesuai sebagai bagian penting dalam pengelolaan mutu. Beberapa penyebab umum:

1. mutu material tidak sesuai,
2. metode kerja salah,
3. dimensi tidak memenuhi toleransi,
4. hasil pengujian gagal.

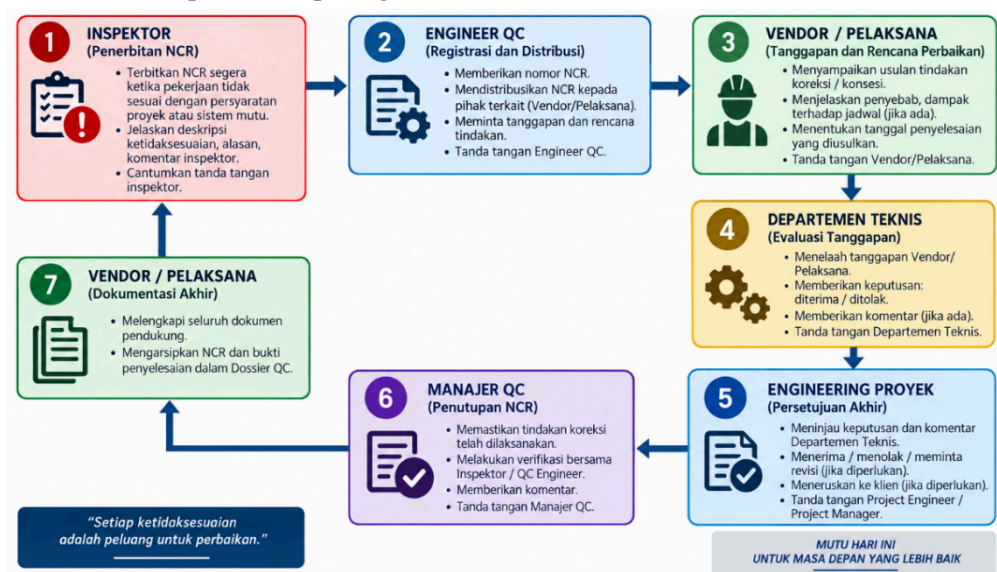
Komponen NCR antara lain

1. nomor NCR,
2. lokasi,
3. deskripsi,
4. bukti,
5. tindakan sementara,
6. tindakan koreksi,
7. verifikasi.

Contoh kejadian NCR: “Hasil kuat tekan beton umur 28 hari sebesar 22 MPa, sedangkan spesifikasi mensyaratkan 25 MPa”. Tindakan yang dilakukan:

1. investigasi penyebab,
2. pengujian tambahan,
3. evaluasi struktur,
4. tindakan koreksi.

Alur NCR dapat dilihat pada gambar berikut



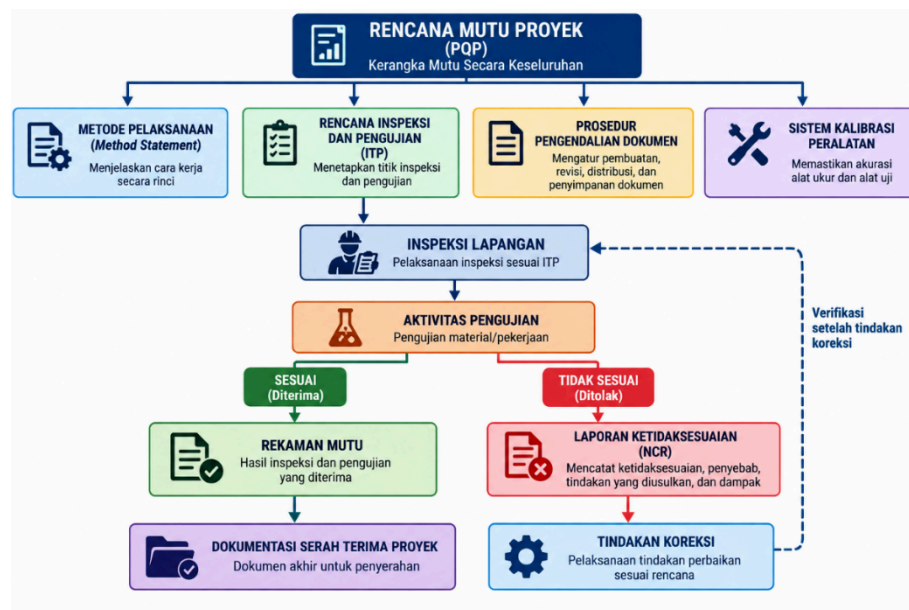
Gambar 5.4 Siklus Penanganan NCR

NCR merupakan bagian dari pengendalian *output* yang tidak sesuai dan menjadi dasar pelaksanaan tindakan koreksi serta pencegahan agar ketidaksesuaian tidak berulang pada proyek berikutnya (ISO, 2026; Kim et al., 2020).

5.3.10 Hubungan Method Statement, ITP, dan NCR

Ketiga dokumen ini saling berhubungan. Hubungannya adalah:

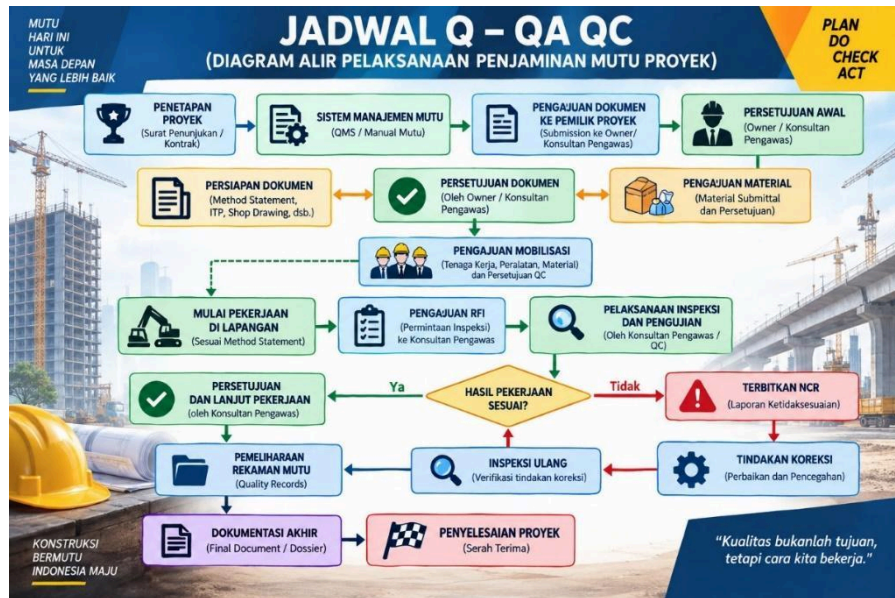
1. Method Statement menjelaskan cara kerja.
2. ITP mengendalikan pelaksanaan.
3. NCR menangani penyimpangan.



Gambar 5.5 Integrasi Dokumen Mutu

5.4 Alur Sistem Manajemen Mutu Proyek

Seluruh dokumen mutu bekerja sebagai satu siklus.



Gambar 5.6 Alur Sistem Manajemen Mutu Proyek.

Tahapan utama manajemen mutu proyek:

1. Kontrak proyek.
2. Penyusunan *Quality Plan*.
3. Penyusunan *Method Statement*.
4. Penyusunan ITP.
5. Pelaksanaan pekerjaan.
6. Inspeksi.
7. Pengujian.
8. NCR bila terjadi ketidaksesuaian.
9. Tindakan koreksi.
10. Verifikasi.
11. Serah terima.
12. *Continuous Improvement*.

Seluruh tahapan tersebut membentuk siklus PDCA (*Plan–Do–Check–Act*) yang menjadi inti *continuous improvement* dalam ISO 9001:2026 sehingga evaluasi hasil pekerjaan dapat menghasilkan pembelajaran organisasi secara berkelanjutan (ISO, 2026).

BAB 6 PERENCANAAN MUTU (QUALITY PLANNING)

6.1 Pendahuluan

Perencanaan mutu (*quality planning*) merupakan tahapan awal dalam sistem manajemen mutu yang menentukan bagaimana mutu akan dicapai selama pelaksanaan proyek. Dalam proyek teknik sipil, kualitas tidak hanya bergantung pada hasil akhir bangunan, tetapi juga pada konsistensi setiap proses mulai dari perencanaan, pengadaan material, pelaksanaan konstruksi, pengujian, hingga serah terima pekerjaan. (Wawak et al., 2020; Khatatbeh, 2023)

ISO 9001:2026 menempatkan perencanaan mutu sebagai bagian penting dari pendekatan proses (*process approach*) yang harus mempertimbangkan konteks organisasi, kebutuhan pemangku kepentingan, risiko, peluang, kepemimpinan, serta budaya mutu organisasi. Dibandingkan edisi sebelumnya, ISO 9001:2026 memberikan penekanan lebih kuat pada budaya kualitas, kepemimpinan yang aktif, dan pengelolaan risiko secara lebih eksplisit. (International Organization for Standardization [ISO], 2026)

Dalam proyek konstruksi Indonesia, perencanaan mutu juga harus mengacu pada berbagai standar nasional seperti: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2025; Direktorat Jenderal Bina Konstruksi, 2026)

1. SNI 2847 (Beton Struktural)
2. SNI 1729 (Struktur Baja)
3. SNI 1726 (Ketahanan Gempa)
4. SNI 2052 (Baja Tulangan)
5. Spesifikasi Umum Bina Marga 2025 (untuk pekerjaan jalan)

6.2 Konsep *Quality Planning* Dalam ISO 9001:2026

Menurut ISO 9001:2026, organisasi harus merencanakan sistem manajemen mutu sehingga mampu: (ISO, 2026; Khatatbeh, 2023)

1. mencapai tujuan mutu,
2. memenuhi kebutuhan pelanggan,
3. mengendalikan risiko,

4. memanfaatkan peluang,
5. memastikan proses berjalan konsisten,
6. mendukung perbaikan berkelanjutan.

6.3 Prinsip Perencanaan Mutu

ISO 9001 tetap menggunakan tujuh prinsip manajemen mutu. (ISO, 2026; Okudan & Budayan, 2021; Egwunatum et al., 2022)

1. Fokus pada pelanggan. Kualitas diukur dari kemampuan memenuhi kebutuhan pelanggan.
2. Kepemimpinan. Manajemen harus menunjukkan komitmen terhadap mutu.
3. Keterlibatan personel. Semua pekerja memiliki tanggung jawab terhadap kualitas.
4. Pendekatan proses. Setiap pekerjaan harus dipandang sebagai bagian dari proses.
5. Perbaikan berkelanjutan. Organisasi harus terus meningkatkan kinerja.
6. Pengambilan keputusan berbasis bukti. Keputusan harus didukung data.
7. Manajemen hubungan. Hubungan dengan pemasok memengaruhi mutu proyek.

6.4 Komponen Utama *Quality Plan*

Sebuah *quality plan* minimal memuat hal seperti tabel berikut: (Wawak et al., 2020; ISO, 2017)

Tabel 6.1 Komponen *Quality Plan*

Komponen	Isi
Ruang lingkup	Pekerjaan yang dikendalikan
Standar acuan	SNI, ISO, Bina Marga
Organisasi mutu	Struktur personel
Metode inspeksi	Cara pemeriksaan
Pengujian	Laboratorium dan lapangan
Jadwal	Waktu pelaksanaan
Dokumentasi	Form inspeksi

6.5 Ruang Lingkup *Quality Plan*

Ruang lingkup menjelaskan pekerjaan yang dikendalikan. Contoh pada proyek jalan:

1. pekerjaan tanah,
2. timbunan,
3. geotekstil,
4. PVD,
5. pondasi,
6. beton,
7. baja,
8. drainase,
9. perkerasan.

6.6 Standar Acuan dalam Perencanaan Mutu

Standar merupakan dasar pengendalian kualitas. Standar Internasional dan Nasional terdiri dari (ISO, 2026; ISO, 2018; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2025)

Tabel 6.2 Standar Internasional

Standar	Fungsi
ISO 9001:2026	Sistem Manajemen Mutu
ISO 9000	Istilah mutu
ISO 19011	Audit

Tabel 6.3 Standar Nasional

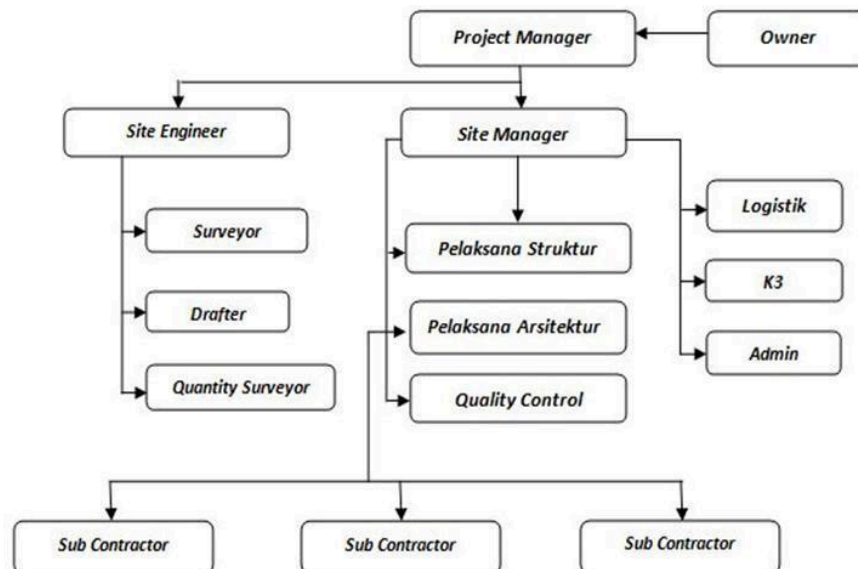
Standar	Penerapan
SNI 2847	Beton
SNI 1729	Baja
SNI 1726	Gempa
SNI 2052	Baja tulangan

Spesifikasi PUPR meliputi antara lain: (Direktorat Jenderal Bina Konstruksi, 2026)

1. Spesifikasi Umum Bina Marga 2025
2. Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Konstruksi Nomor 47/SE/Dk/2026 tentang Tata Cara Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum, termasuk acuan AHSP. (Direktorat Jenderal Bina Konstruksi, 2026)

6.7 Struktur Organisasi Mutu

Dalam proyek konstruksi, tanggung jawab mutu harus jelas. Contoh struktur mutu adalah seperti pada gambar berikut (Andhika & Latief, 2020; Khatatbeh, 2023)



Gambar 6.1 Contoh Struktur Organisasi Mutu

Dengan tanggung jawab sebagaimana terlihat pada tabel berikut

Tabel 6.4 Tanggung Jawab Setiap Unsur Dalam Struktur Organisasi Mutu

Jabatan	Tugas
Project Manager	Pengendalian keseluruhan
QA Manager	Sistem mutu

QC Engineer	Inspeksi
Site Engineer	Pelaksanaan
Surveyor	Pengukuran
Laboran	Pengujian

ISO 9001:2026 menegaskan bahwa kepemimpinan harus berperan aktif dalam membangun budaya mutu, bukan hanya menyerahkan tanggung jawab kepada bagian QA/QC. (ISO, 2026; Andhika & Latief, 2020)

6.8 Metode Inspeksi

Inspeksi dilakukan untuk memastikan pekerjaan sesuai spesifikasi. Jenis inspeksi antara lain: (Yoon et al., 2018; Wawak et al., 2020; Qi et al., 2021)

1. visual,
2. dimensi,
3. laboratorium,
4. lapangan.

Contoh inspeksi pekerjaan struktur beton adalah:

1. Pemeriksaan bekisting.
2. Pemeriksaan tulangan.
3. *Slump test*.
4. Pengecoran.
5. *Curing*.
6. Uji kuat tekan

6.9 Inspection and Test Plan (ITP) (Wawak et al., 2020; Alves et al., 2020)

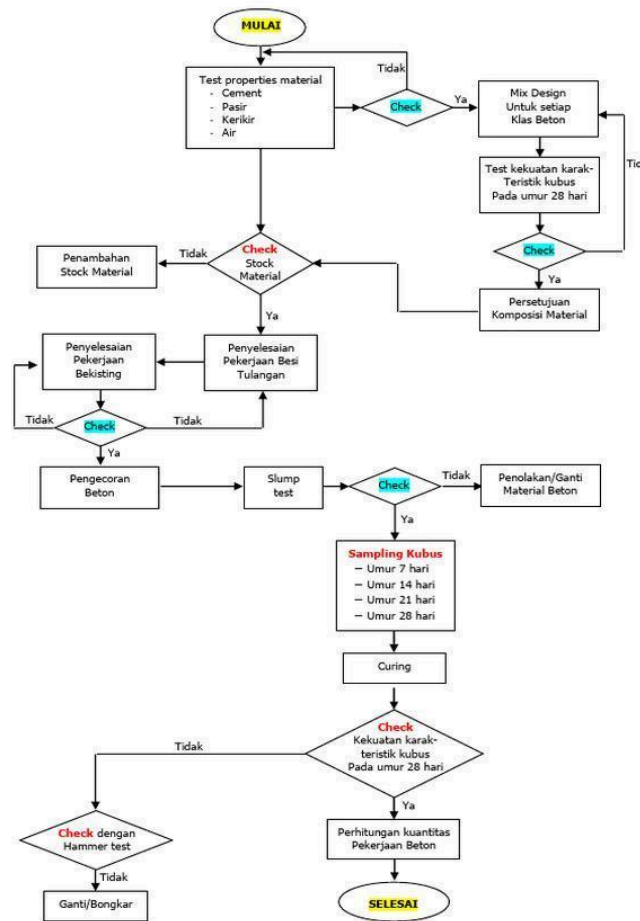
ITP merupakan dokumen utama pengendalian mutu. Contoh ITP seperti terlihat pada tabel berikut

Tabel 6.5 Contoh ITP

Tahap	Pemeriksaan	Frekuensi
Galian	Elevasi	Harian
Timbunan	Kepadatan	Per layer
Beton	Slump	Setiap truk
Beton	Kuat tekan	Setiap batch

Contoh alur ITP terlihat pada gambar berikut

BAGAN ALIR INSPEKSI DAN PROSEDUR PERSETUJUAN PEKERJAAN BETON



Gambar 6.2 Alur ITP

6.10 Dokumentasi Mutu

ISO 9001:2026 tetap menekankan pentingnya informasi terdokumentasi sebagai bukti bahwa proses berjalan sesuai persyaratan. Selain mempertahankan konsep dokumentasi yang fleksibel, edisi 2026 memperjelas tujuan setiap persyaratan sehingga organisasi lebih mudah menerapkan dokumentasi yang efektif tanpa harus membuat dokumen yang berlebihan. Dokumen utama meliputi: (ISO, 2026; Sheng et al., 2020; Zhang et al., 2022)

1. *Quality Plan*
2. *ITP*
3. *Checklist*
4. *Test Report*
5. *NCR*
6. *CAR*

Sedangkan alur dokumentasi mutu dapat dilihat pada gambar berikut

DOCUMENT PREPARATION SEQUENCE



Gambar 6.3 Alur Dokumentasi Mutu

6.11 Contoh *Quality Plan* Proyek Gedung

Proyek: Pembangunan Gedung Perkuliahan 4 Lantai

Lokasi: Banjarmasin, Kalimantan Selatan

Pemilik: Universitas/Institusi Pendidikan

Kontraktor: PT XYZ Konstruksi

Konsultan Pengawas: PT ABC Konsultan

Masa Pelaksanaan: 12 bulan

Karena karakteristik tanah di sebagian wilayah Banjarmasin dan Kalimantan Selatan dapat memerlukan perhatian khusus terhadap tanah lunak, muka air tanah, penurunan dan pekerjaan pondasi, dokumen mutu sebaiknya memasukkan pengendalian khusus pada pekerjaan tanah dan pondasi. (Tjitradi et al., 2021; Annisa et al., 2024)

Tabel 6.6 Sasaran Mutu

Sasaran	Target
Material approved sebelum digunakan	100%
RFI terdokumentasi	100%
Pengujian beton	100% sesuai ITP
Pemeriksaan pembesian	100%
Pemeriksaan bekisting	100%

NCR terselesaikan	100%
As-built drawing	100%
Dokumen QA/QC	100% lengkap

Method Statement

Misalnya kontraktor akan mengerjakan **pondasi tiang pancang**. Maka *Scope of Work*: Pekerjaan pemancangan tiang beton pracetak untuk pondasi gedung. Dengan material: (ISO, 2017; Wawak et al., 2020)

1. Tiang pancang beton
2. Concrete pile
3. Baja tulangan
4. Welding material
5. Pile joint
6. Material pendukung

Peralatan:

1. Hydraulic/static pile driver
2. Crane
3. Total station
4. Waterpass
5. Welding equipment

Prosedur:

1. Survey titik pancang
2. Mobilisasi alat
3. Setting out
4. Positioning pile
5. Verticality check
6. Pemancangan
7. Pencatatan kedalaman
8. Pencatatan tekanan/energi pemancangan
9. PDA test jika dipersyaratkan
10. PIT jika dipersyaratkan
11. Pemotongan kepala tiang
12. Dokumentasi

Material Approval Request (MAR) (Alves et al., 2020; Khatatbeh, 2023)

Tabel 6.7 Contoh MAR

Parameter	Contoh
Supplier	PT Ready Mix Kalsel
Mutu beton	fc' 30 MPa
Slump	Sesuai spesifikasi
Ukuran agregat	20 mm
Cement type	Sesuai mix design
Mix design	Terlampir
Mill certificate	Terlampir
Trial mix	Terlampir
Status	Approved

Inspection and Test Plan (ITP) (Yoon et al., 2018; Alves et al., 2020)

Tabel 6.8 Contoh ITP

No	Tahapan	Inspection/Test	Acceptance Criteria	PIC
1	Material	Check material	Approved MAR	QC
2	Pembesian	Diameter & spacing	Drawing	QC
3	Cover	Measurement	Drawing/spec	QC
4	Bekisting	Dimension	Shop drawing	QC
5	Before casting	Final inspection	Approved	QC/Engineer
6	Slump test	Slump	Mix design/spec	QC
7	Concrete sampling	Cube/cylinder	Spec	Lab
8	Concrete casting	Visual inspection	Approved	QC
9	Curing	Inspection	Spec	QC
10	Compressive strength	Laboratory test	fc' requirement	Lab

BAB 7 QUALITY CONTROL

7.1 Pendahuluan

Quality Control (QC) merupakan salah satu fungsi utama dalam sistem manajemen mutu yang bertugas memastikan bahwa hasil pekerjaan memenuhi spesifikasi teknis, standar mutu, persyaratan kontrak, serta ketentuan keselamatan yang telah ditetapkan. Dalam proyek teknik sipil, QC tidak hanya berupa pemeriksaan akhir, tetapi merupakan rangkaian kegiatan pengukuran, pengujian, inspeksi, dan verifikasi yang dilakukan secara sistematis selama proses konstruksi berlangsung. (International Organization for Standardization [ISO], 2026; Wawak et al., 2020).

Menurut ISO 9001:2026, organisasi harus memastikan bahwa keluaran proses diverifikasi menggunakan metode pemantauan dan pengukuran yang sesuai sebelum produk atau layanan diserahkan kepada pelanggan. Selain itu, organisasi diwajibkan

menyediakan bukti terdokumentasi bahwa seluruh kriteria penerimaan telah dipenuhi sebelum pelepasan hasil pekerjaan dilakukan. (ISO, 2026).

Dalam industri konstruksi, penerapan QC bertujuan untuk:

1. menjamin kesesuaian pekerjaan dengan spesifikasi teknis;
2. mengurangi kegagalan konstruksi;
3. menekan biaya akibat pekerjaan ulang (rework);
4. meningkatkan kepuasan pemilik proyek;
5. mendukung proses Continuous Quality Improvement (CQI).

7.2 Konsep *Quality Control* Dalam ISO 9001:2026

Pada ISO 9001:2026, pengendalian mutu menjadi bagian dari pendekatan berbasis proses dan pemikiran berbasis risiko (*risk-based thinking*). Dibandingkan edisi sebelumnya, standar terbaru memberikan perhatian lebih besar pada: (ISO, 2026; Willar & Pangemanan, 2020).

1. budaya mutu dalam organisasi,
2. kepemimpinan terhadap kualitas,
3. kejelasan pengelolaan risiko dan peluang,
4. integrasi sistem manajemen.

Prinsip QC menurut ISO 9001:2026 mencakup tahapan pengendalian mutu meliputi:

1. Menetapkan standar.
2. Melaksanakan pekerjaan.
3. Melakukan inspeksi.
4. Melakukan pengujian.
5. Membandingkan hasil dengan spesifikasi.
6. Menentukan tindakan korektif bila diperlukan.

7.3 Perbedaan *Quality Control* dan *Quality Assurance*

Walaupun sering digunakan secara bersamaan, *Quality Assurance* (QA) dan *Quality Control* (QC) memiliki fungsi yang berbeda seperti terlihat pada tabel berikut. (ISO, 2026; Hussamadin et al., 2023).

Tabel 7.1 Perbedaan QA dan QC

Aspek	QA	QC
Fokus	Proses	Hasil
Tujuan	Mencegah cacat	Menemukan ketidaksesuaian
Waktu	Sebelum pekerjaan	Selama dan setelah pekerjaan
Aktivitas	SOP, audit	Pengujian laboratorium, inspeksi
Output	Sistem mutu	Data hasil pengujian

Hubungan QA dan QC bersifat saling melengkapi. QA memastikan sistem bekerja dengan baik, sedangkan QC membuktikan bahwa hasil pekerjaan memenuhi persyaratan mutu.

7.4 Tahapan *Quality Control* Pada Proyek Konstruksi

Quality Control (QC) pada proyek konstruksi merupakan serangkaian kegiatan teknis dan sistematis yang dilakukan untuk memastikan bahwa material, metode pelaksanaan, proses pekerjaan, dan hasil akhir konstruksi memenuhi persyaratan mutu yang telah ditetapkan. *Quality Control* berorientasi pada pemeriksaan dan pengendalian

terhadap produk atau hasil pekerjaan sehingga penyimpangan dapat diketahui dan dikoreksi sedini mungkin. Dalam proyek konstruksi, QC harus dilaksanakan sejak tahap persiapan hingga serah terima pekerjaan, bukan hanya pada saat pekerjaan telah selesai. (Wawak et al., 2020; Ma et al., 2018; ISO, 2017).

Tahap pertama adalah identifikasi persyaratan mutu. Pada tahap ini, tim QC mempelajari dokumen kontrak, gambar kerja, spesifikasi teknis, metode pelaksanaan, standar nasional, serta persyaratan lain yang berlaku. Persyaratan tersebut kemudian diterjemahkan menjadi parameter mutu yang dapat diukur, seperti dimensi, elevasi, kuat tekan beton, mutu baja tulangan, kepadatan tanah, ketebalan lapisan, toleransi geometrik, dan tingkat kerataan permukaan. Identifikasi yang baik menjadi dasar bagi penyusunan rencana inspeksi dan pengujian. (Wawak et al., 2020; Seiß et al., 2025).

Tahap kedua adalah penyusunan *Inspection and Test Plan* (ITP). ITP berisi tahapan pekerjaan yang harus diperiksa, parameter yang dikendalikan, metode inspeksi atau pengujian, frekuensi pemeriksaan, kriteria penerimaan, serta pihak yang bertanggung jawab. ITP juga dapat menetapkan titik pemeriksaan berupa hold point dan witness point. *Hold point* berarti pekerjaan tidak boleh dilanjutkan sebelum pemeriksaan tertentu dinyatakan memenuhi persyaratan, sedangkan witness point memberikan kesempatan kepada pihak terkait untuk menyaksikan proses pemeriksaan atau pengujian. (Seiß et al., 2025).

Tahap ketiga adalah pengendalian material dan peralatan. Material yang datang ke lokasi proyek harus diperiksa berdasarkan dokumen pengiriman, sertifikat mutu, spesifikasi teknis, jumlah, kondisi fisik, dan kesesuaiannya dengan material yang disetujui. Contohnya, semen, agregat, beton siap pakai, baja tulangan, geosintetik, dan material timbunan harus diperiksa sebelum digunakan. Peralatan pengujian juga harus dipastikan dalam kondisi baik dan, apabila dipersyaratkan, telah dikalibrasi. (Islam et al., 2021; Willar & Pangemanan, 2020).

Tahap keempat adalah inspeksi proses pelaksanaan. Inspeksi dilakukan selama pekerjaan berlangsung untuk memastikan metode kerja sesuai dengan prosedur yang telah disetujui. Pada pekerjaan beton, misalnya, QC dapat memeriksa pemasangan tulangan, dimensi bekisting, kebersihan area pengecoran, slump beton, proses pemadatan, dan curing. Pada pekerjaan tanah, pemeriksaan dapat meliputi kadar air, ketebalan lapisan timbunan, jumlah lintasan pemadatan, serta tingkat kepadatan tanah. (Ma et al., 2018; Mirshokraei et al., 2019).

Tahap kelima adalah pengujian dan verifikasi hasil pekerjaan. Pengujian dilakukan menggunakan metode yang sesuai dengan standar dan spesifikasi proyek. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan acceptance criteria. Apabila hasil memenuhi persyaratan, pekerjaan dapat dinyatakan diterima. Sebaliknya, apabila ditemukan ketidaksesuaian, maka diperlukan tindakan korektif. (Hussamadin et al., 2023).

Tahap keenam adalah pengendalian pekerjaan tidak sesuai atau *Non-Conformance Report* (NCR). NCR digunakan untuk mendokumentasikan jenis ketidaksesuaian, lokasi, penyebab, dampak, serta tindakan koreksi yang diperlukan. Setelah tindakan korektif dilakukan, QC melakukan pemeriksaan ulang untuk memastikan bahwa masalah telah diselesaikan secara efektif. (Islam et al., 2021).

Tahap terakhir adalah dokumentasi dan evaluasi mutu. Seluruh hasil inspeksi, pengujian, checklist, foto pekerjaan, sertifikat material, laporan laboratorium, dan NCR harus terdokumentasi secara sistematis. Data tersebut menjadi bukti objektif bahwa

pekerjaan telah dilaksanakan sesuai persyaratan sekaligus menjadi dasar evaluasi dan *continuous improvement*. Dengan tahapan yang sistematis, *Quality Control* tidak hanya berfungsi menemukan kesalahan, tetapi juga mengurangi risiko pekerjaan ulang, pemborosan biaya, keterlambatan proyek, dan kegagalan konstruksi. (Hussamadin et al., 2023; Araya-Santelices et al., 2025).



Gambar 7.1 Tahapan *Quality Control* Pada Proyek Konstruksi

7.5 Tujuan *Quality Control*

Pelaksanaan QC pada proyek konstruksi memiliki beberapa tujuan utama, yaitu: (Wawak et al., 2020; Gumusburun Ayalp & Arslan, 2025).

1. Memastikan pekerjaan memenuhi gambar kerja dan spesifikasi teknis.
2. Memastikan material yang digunakan memenuhi persyaratan mutu.
3. Memastikan metode pelaksanaan sesuai dengan metode kerja yang disetujui.
4. Mendeteksi ketidaksesuaian sedini mungkin.
5. Mengurangi pekerjaan ulang dan pemborosan material.
6. Mengendalikan risiko kegagalan konstruksi.
7. Menyediakan bukti objektif mengenai pemenuhan persyaratan mutu.
8. Mendukung pencapaian target biaya, waktu, mutu, dan keselamatan.
9. Menyediakan data untuk evaluasi dan *continuous improvement*.
10. Memastikan bahwa produk akhir dapat diterima oleh pemilik pekerjaan sesuai persyaratan kontrak.

Dengan demikian, QC mempunyai hubungan langsung dengan keberhasilan proyek secara keseluruhan. Mutu yang terkendali akan mengurangi kemungkinan terjadinya keterlambatan, pembengkakan biaya, dan sengketa akibat ketidaksesuaian pekerjaan. (Wawak et al., 2020; Gumusburun Ayalp & Arslan, 2025).

7.6 Identifikasi Persyaratan Mutu

Tahap pertama adalah mengidentifikasi seluruh persyaratan mutu yang harus dipenuhi. Tim QC perlu mempelajari dokumen kontrak, spesifikasi teknis, gambar kerja, *method statement*, standar pengujian, *approved material submittal*, dan dokumen teknis lainnya. (Wawak et al., 2020; Seiß et al., 2025).

Persyaratan tersebut kemudian diterjemahkan menjadi parameter yang dapat diperiksa dan diukur. Pada pekerjaan beton bertulang, misalnya, parameter QC dapat meliputi diameter dan jarak tulangan, dimensi bekisting, selimut beton, mutu beton, nilai *slump*, temperatur beton, metode pemadatan, dan proses *curing*.

Pada pekerjaan jalan, parameter dapat berupa kadar air material, gradasi agregat, kepadatan lapangan, ketebalan lapisan, kadar aspal, temperatur campuran, elevasi, kemiringan melintang, dan kerataan permukaan.

Identifikasi persyaratan mutu harus menghasilkan kriteria yang jelas sehingga pemeriksa tidak hanya memberikan penilaian subjektif seperti "baik" atau "tidak baik". Sebaliknya, keputusan penerimaan harus didasarkan pada parameter yang terukur. (Hussamadin et al., 2023).

7.7 Penyusunan Inspection and Test Plan

Inspection and Test Plan (ITP) merupakan dokumen penting dalam pelaksanaan QC. ITP mengatur kapan inspeksi dilakukan, apa yang diperiksa, bagaimana pemeriksaan dilakukan, siapa yang bertanggung jawab, serta apa kriteria penerimaannya. ITP umumnya memuat: (Seiß et al., 2025).

1. aktivitas pekerjaan;
2. item yang diperiksa;
3. referensi dokumen;
4. parameter pemeriksaan;
5. metode inspeksi;
6. frekuensi pemeriksaan;
7. kriteria penerimaan;
8. pihak yang melakukan pemeriksaan;
9. *hold point*;
10. *witness point*;
11. rekaman atau dokumen bukti.

Hold point merupakan titik pengendalian yang mengharuskan pekerjaan dihentikan sementara sampai inspeksi atau persetujuan tertentu diberikan. Contohnya adalah pemeriksaan pembesian sebelum pengecoran beton. Setelah beton dicor, pemeriksaan terhadap tulangan menjadi sulit dilakukan sehingga pemeriksaan harus diselesaikan terlebih dahulu. Sementara itu, *witness point* merupakan titik pemeriksaan ketika pihak tertentu diberi kesempatan untuk menyaksikan proses inspeksi atau pengujian. Contoh ITP berikut menggunakan pekerjaan struktur beton bertulang sebagai ilustrasi. (Seiß et al., 2025).

Tabel 7.2 Contoh ITP Pada Pekerjaan Beton Bertulang

No.	Aktivitas	Item Pemeriksaan	Metode	Frekuensi	<i>Acceptance Criteria</i>	Titik Kontrol
1	Material	Diameter,	Visual dan	Setiap	Sesuai	<i>Witness</i>

	baja tulangan	mutu, kondisi fisik	pengukuran	kedatangan	spesifikasi dan dokumen persetujuan	
2	Pembesian	Diameter dan jarak tulangan	Pengukuran	Setiap elemen	Sesuai gambar kerja	<i>Hold</i>
3	Bekisting	Dimensi dan elevasi	Pengukuran	Setiap elemen	Sesuai toleransi proyek	<i>Hold</i>
4	Sebelum pengecoran	Kebersihan dan kesiapan area	Visual	Setiap pengecoran	Memenuhi checklist pra-cor	<i>Hold</i>
5	Beton segar	<i>Slump</i>	Pengujian	Setiap pengecoran sesuai rencana pengujian	Sesuai spesifikasi	<i>Witness</i>
6	Beton segar	Benda uji	Sampling	Sesuai rencana pengujian	Sesuai standar	<i>Witness</i>
7	Beton keras	Kuat tekan	Uji laboratorium	Sesuai umur pengujian	Memenuhi mutu rencana	<i>Review</i>
8	Curing	Metode dan durasi	Visual	Selama periode curing	Sesuai spesifikasi	<i>Inspection</i>
9	Dimensi struktur	Panjang, lebar, elevasi	Pengukuran	Setiap elemen	Dalam toleransi	<i>Inspection</i>

ITP harus disesuaikan dengan karakteristik proyek. Tidak semua item harus menggunakan *hold point*. Penetapan titik kontrol harus mempertimbangkan tingkat risiko, konsekuensi kegagalan, dan kemudahan melakukan pemeriksaan setelah pekerjaan dilanjutkan. (Seiß et al., 2025).

7.8 Pengendalian Material dan Peralatan

Material merupakan salah satu sumber utama variasi mutu dalam proyek konstruksi. Oleh sebab itu, material yang masuk ke proyek harus diperiksa sebelum digunakan. Pemeriksaan material dapat mencakup: (Islam et al., 2021; Willar & Pangemaman, 2020).

1. kesesuaian jenis material;
2. jumlah material;
3. kondisi fisik;
4. identitas dan *batch number*;

5. sertifikat mutu;
6. hasil pengujian laboratorium;
7. kesesuaian dengan *approved material submittal*;
8. kondisi penyimpanan.

Sebagai contoh, baja tulangan yang datang ke proyek harus diperiksa diameter, kondisi permukaan, identitas material, dan dokumen pendukungnya. Material yang mengalami korosi berlebihan atau tidak memiliki dokumen yang dipersyaratkan tidak boleh langsung digunakan sebelum dilakukan verifikasi lebih lanjut. Contoh formulir pemeriksaan material adalah sebagai berikut (Islam et al., 2021).

Tabel 7.3 *Form Material Receiving Inspection*

No.	Parameter	Hasil Pemeriksaan
1	Nama material	.....
2	Supplier	.....
3	Tanggal datang	.....
4	Jumlah	.....
5	Nomor batch/lot	.....
6	Spesifikasi	.....
7	Sertifikat mutu	Ada / Tidak
8	Surat jalan	Ada / Tidak
9	Kondisi fisik	Baik / Rusak
10	Hasil pemeriksaan	Diterima / Ditolak / Karantina

Pengendalian peralatan juga penting. Alat ukur seperti *total station*, *waterpass*, *compression testing machine*, timbangan, *slump cone*, dan alat pengujian lainnya harus berada dalam kondisi baik dan memiliki status kalibrasi sesuai persyaratan proyek. (Hussamadin et al., 2023).

7.9 Inspeksi Proses Pelaksanaan

Inspeksi proses dilakukan ketika pekerjaan sedang berlangsung. Tujuannya adalah memastikan bahwa proses aktual sesuai dengan metode kerja yang telah disetujui. Inspeksi tidak hanya berfokus pada hasil akhir, tetapi juga pada cara pekerjaan dilakukan. Dua pekerjaan dapat menghasilkan bentuk yang tampak sama, tetapi memiliki kualitas berbeda apabila proses pelaksanaannya tidak memenuhi persyaratan. (Ma et al., 2018; Mirshokraei et al., 2019).

Pada pekerjaan pengecoran beton, misalnya, *inspector* harus memperhatikan:

1. kesiapan bekisting;
2. posisi tulangan;
3. *concrete cover*;
4. kebersihan area;
5. kesiapan alat;
6. nilai *slump*;
7. metode pengecoran;
8. pemadatan menggunakan vibrator;
9. waktu pengecoran;
10. perlindungan beton;

11. proses *curing*.

Pada pekerjaan tanah, inspeksi dapat mencakup ketebalan lapisan timbunan, kadar air, jumlah lintasan alat pemadat, dan hasil uji kepadatan lapangan.

Checklist digunakan untuk membuat proses inspeksi lebih sistematis dan mengurangi kemungkinan item penting terlewat. Contohnya adalah sebagai berikut (Hussamadin et al., 2023; Mirshokraei et al., 2019).

Tabel 7.4 Contoh *Checklist* Pada Pekerjaan Beton Bertulang

No.	Item Pemeriksaan	Kriteria	Status	Ket
1	Gambar kerja	Gambar telah disetujui	OK/NG	
2	Dimensi bekisting	Sesuai gambar	OK/NG	
3	Elevasi	Sesuai elevasi rencana	OK/NG	
4	Diameter tulangan	Sesuai gambar	OK/NG	
5	Jarak tulangan	Sesuai gambar	OK/NG	
6	Sambungan tulangan	Sesuai detail	OK/NG	
7	Selimut beton	Sesuai spesifikasi	OK/NG	
8	Kebersihan bekisting	Bersih dari kotoran	OK/NG	
9	<i>Release agent</i>	Terpasang sesuai prosedur	OK/NG	
10	<i>Slump</i> beton	Sesuai spesifikasi	OK/NG	
11	Benda uji	Telah dibuat	OK/NG	
12	Pemadatan	Dilakukan dengan benar	OK/NG	
13	<i>Curing</i>	Sesuai prosedur	OK/NG	
14	Dokumentasi	Foto dan laporan tersedia	OK/NG	

Tabel 7.5 Form *Checklist* Pemeriksaan Bekisting

No.	Item Pemeriksaan	Kriteria	Hasil	Status
1	Dimensi bekisting	Sesuai gambar		OK / NG
2	Elevasi	Sesuai elevasi rencana		OK / NG
3	Vertikalitas	Dalam toleransi		OK / NG
4	Kekakuan	Tidak mudah berubah bentuk		OK / NG
5	Sambungan panel	Tidak bocor		OK / NG
6	Kebersihan	Bebas material sisa		OK / NG
7	<i>Release agent</i>	Terpasang sesuai prosedur		OK / NG
8	Support/bracing	Stabil		OK / NG
9	Bukaan pekerjaan	Sesuai gambar		OK / NG
10	Kesiapan pengecoran	Memenuhi persyaratan		OK / NG

Tabel 7.6 Form *Checklist* Pengecoran Beton

No.	Item Pemeriksaan	Kriteria	Hasil	Status
1	Mutu beton	Sesuai mutu rencana		OK / NG
2	Delivery ticket	Sesuai pesanan		OK / NG
3	Waktu kedatangan	Sesuai prosedur		OK / NG
4	<i>Slump</i>	Sesuai spesifikasi		OK / NG
5	Temperatur beton	Sesuai persyaratan		OK / NG
6	Benda uji	Dibuat sesuai rencana		OK / NG
7	Pemadatan	Menggunakan vibrator		OK / NG

8	Kecepatan pengecoran	Sesuai metode kerja		OK / NG
9	Sambungan pengecoran	Sesuai detail		OK / NG
10	<i>Curing</i>	Sesuai prosedur		OK / NG

Tabel 7.7 Form Laporan Hasil Pengujian

Parameter			Keterangan	
Nama Proyek			.....	
Item Pekerjaan			.....	
Lokasi			.....	
Tanggal Pengujian			.....	
Jenis Pengujian			.....	
Standar Pengujian			.....	
Sampel			.....	
No.	Sampel	Hasil Pengujian	Acceptance Criteria	Status
1	Sampel 1			OK / NG
2	Sampel 2			OK / NG
3	Sampel 3			OK / NG

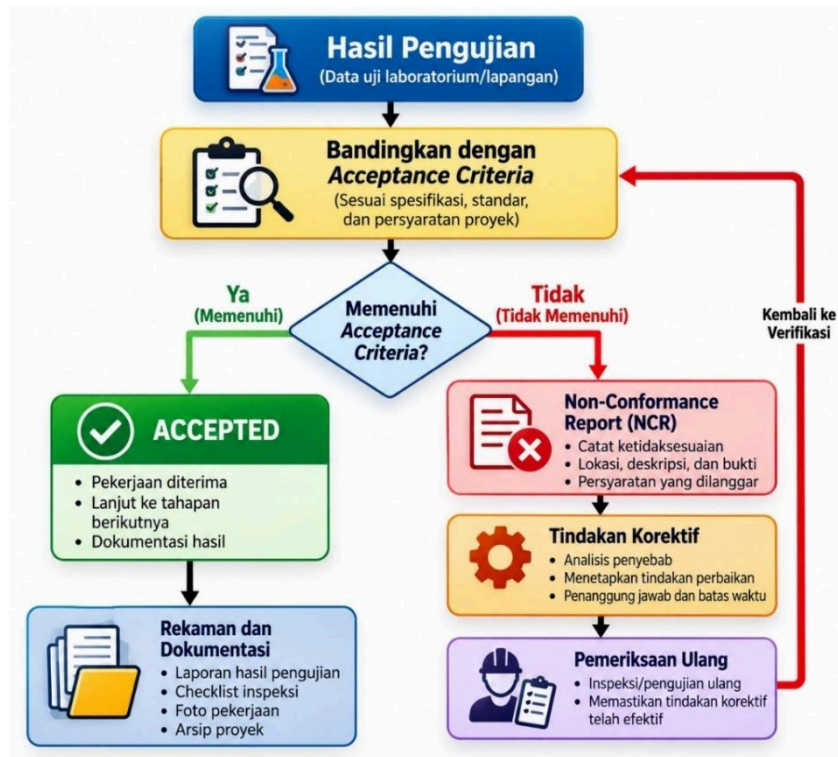
Kolom status dapat menggunakan kode OK (*acceptable*) dan NG (*not acceptable*). Apabila ditemukan NG, inspector harus mencatat lokasi, jenis ketidaksesuaian, dan tindakan yang harus dilakukan. (Hussamadin et al., 2023).

7.10 Pengujian dan Verifikasi Hasil Pekerjaan

Pengujian merupakan proses untuk memperoleh bukti objektif mengenai kualitas material atau pekerjaan. Pengujian dapat dilakukan di lapangan maupun laboratorium. (Hussamadin et al., 2023).

Pada pekerjaan beton, pengujian dapat mencakup *slump test* dan kuat tekan. Pada pekerjaan tanah, pengujian dapat meliputi kadar air, analisis gradasi, *Proctor test*, dan kepadatan lapangan. Pada pekerjaan perkerasan jalan, pengujian dapat meliputi karakteristik agregat, campuran aspal, kepadatan, ketebalan, dan karakteristik permukaan.

Hasil pengujian harus dibandingkan dengan *acceptance criteria*. Keputusan penerimaan tidak boleh hanya berdasarkan persepsi visual apabila parameter mutu mensyaratkan pengujian kuantitatif. Secara sederhana, keputusan QC dapat dinyatakan sebagai berikut: (ISO, 2026).



Gambar 7.2 Keputusan *Quality Control* Pada Proyek Konstruksi

7.11 Pengendalian Ketidaksesuaian melalui NCR

Ketidaksesuaian atau *non-conformity* terjadi ketika material, proses, atau hasil pekerjaan tidak memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Apabila ketidaksesuaian ditemukan, tim QC dapat menerbitkan *Non-Conformance Report* (NCR). NCR setidaknya memuat: (Islam et al., 2021).

1. nomor NCR;
2. tanggal;
3. lokasi;
4. pekerjaan terkait;
5. deskripsi ketidaksesuaian;
6. persyaratan yang dilanggar;
7. bukti atau foto;
8. analisis penyebab;
9. tindakan korektif;
10. pihak yang bertanggung jawab;
11. batas waktu penyelesaian;
12. hasil verifikasi;
13. status penutupan NCR.

NCR sebaiknya tidak dipandang sebagai bentuk hukuman terhadap pelaksana. NCR merupakan instrumen pengendalian untuk memastikan bahwa penyimpangan ditangani secara sistematis. Contoh formulir laporan NCR dan *Corrective Action Report* (tindakan korektif) adalah sebagai berikut (Islam et al., 2021).

Tabel 7.8 Form *Non-Conformance Report* (NCR)

Data	Keterangan
No. NCR	
Tanggal	
Proyek	
Lokasi	
Item pekerjaan	
Kontraktor/Subkontraktor	

Deskripsi Ketidaksesuaian:

.....

Persyaratan yang Tidak Dipenuhi:

.....

Bukti Pendukung:

- ☐ Foto
- ☐ Hasil pengujian
- ☐ Checklist
- ☐ Gambar kerja
- ☐ Dokumen lainnya

Analisis Penyebab:

.....

Tindakan Korektif:

.....

Penanggung Jawab:

Batas Waktu:

Verifikasi QC:

- ☐ Memenuhi
- ☐ Belum Memenuhi

Status NCR:

- ☐ OPEN
- ☐ CLOSED

Tabel 7.9 Form *Corrective Action Report*

No.	Ketidaksesuaian	Akar Penyebab	Tindakan Korektif	PI C	Deadline	Verifikasi	Status
1							Open/Closed
2							Open/Closed
3							Open/Closed

7.12 Dokumentasi dan Rekaman Mutu

Dokumentasi merupakan bagian integral dari QC. Hasil inspeksi tanpa dokumentasi yang memadai akan sulit digunakan sebagai bukti pemenuhan persyaratan. Dokumen mutu dapat meliputi: (ISO, 2026; Hussamadin et al., 2023).

1. ITP;
2. checklist inspeksi;
3. laporan pengujian;
4. sertifikat material;
5. *material receiving report*;
6. *request for inspection*;
7. foto pekerjaan;
8. laporan NCR;
9. laporan tindakan korektif;
10. sertifikat kalibrasi;
11. *as-built drawing*;
12. laporan penyelesaian pekerjaan.

Dokumentasi harus memiliki sistem identifikasi, penyimpanan, dan penelusuran yang jelas. Digitalisasi QC melalui aplikasi, *cloud storage*, formulir elektronik, dan *dashboard* mutu dapat meningkatkan kecepatan pengumpulan dan analisis data. (Hussamadin et al., 2023; Araya-Santelices et al., 2025).

7.13 Studi Kasus QC Pada Proyek Gedung

Sebuah proyek gedung bertingkat melakukan pengecoran kolom beton dengan mutu rencana tertentu sesuai dokumen kontrak. Sebelum pengecoran, tim QC melakukan pemeriksaan pembesian dan bekisting.

Hasil inspeksi menunjukkan bahwa sebagian besar parameter memenuhi persyaratan. Namun, pada salah satu kolom ditemukan jarak antar tulangan sengkang lebih besar daripada yang ditentukan dalam gambar kerja. Apabila pengecoran tetap dilakukan, posisi tulangan yang tidak sesuai akan tertutup beton dan sulit diperbaiki. Oleh karena itu, item tersebut ditetapkan sebagai *hold point*. Pengecoran tidak boleh dilanjutkan sebelum ketidaksesuaian diperbaiki.

Tim QC kemudian mencatat temuan tersebut dalam checklist inspeksi. Pelaksana melakukan koreksi terhadap jarak sengkang. Setelah koreksi selesai, inspector melakukan pemeriksaan ulang. Hasil pemeriksaan kedua menunjukkan bahwa jarak sengkang telah sesuai. Status pemeriksaan kemudian dinyatakan memenuhi dan pekerjaan dapat dilanjutkan. Pada tahap pengecoran, QC melakukan pengujian beton segar dan pembuatan benda uji. Setelah beton mencapai umur pengujian, hasil kuat tekan diperiksa dan dibandingkan dengan persyaratan mutu.

Kasus ini menunjukkan pentingnya QC yang bersifat preventif. Permasalahan dapat diselesaikan sebelum menghasilkan konsekuensi yang lebih besar. Jika pemeriksaan pembesian dilakukan setelah pengecoran, biaya koreksi akan jauh lebih besar dan dapat mengganggu jadwal proyek. (Gumusburun Ayalp & Arslan, 2025).

7.14 Studi Kasus QC Pada Proyek Jalan

Pada pekerjaan pembangunan jalan, lapis pondasi agregat harus memenuhi persyaratan kepadatan yang ditetapkan dalam spesifikasi proyek. Setelah material agregat dihampar dan dipadatkan, tim QC melakukan pengujian kepadatan lapangan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa salah satu titik pengujian memiliki kepadatan di bawah persyaratan minimum.

Tim QC tidak langsung menerima pekerjaan tersebut. Lokasi yang tidak memenuhi persyaratan ditandai dan dicatat dalam laporan inspeksi. Selanjutnya dilakukan investigasi untuk mengetahui penyebabnya. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa kadar air material pada saat pemadatan berada di luar kondisi yang optimal. Pelaksana kemudian melakukan pengaturan kadar air dan pemadatan ulang. Setelah proses tersebut selesai, pengujian kepadatan dilakukan kembali. Hasil pengujian kedua menunjukkan bahwa nilai kepadatan telah memenuhi persyaratan. Pekerjaan kemudian dapat diterima.

Kasus tersebut memperlihatkan bahwa QC harus menggunakan pendekatan berbasis data. Keputusan menerima atau menolak pekerjaan tidak didasarkan hanya pada tampilan visual permukaan jalan, tetapi berdasarkan hasil pengujian yang dapat diverifikasi. (Wawak et al., 2020; Hussamadin et al., 2023).

7.15 Indikator Efektivitas *Quality Control*

Efektivitas QC dapat dievaluasi menggunakan beberapa indikator, antara lain: (Dehbandi et al., 2026; Aksak & Sakin, 2026).

1. jumlah NCR per periode;
2. persentase NCR yang ditutup tepat waktu;
3. jumlah pekerjaan ulang;
4. persentase hasil pengujian yang memenuhi persyaratan;
5. jumlah kegagalan inspeksi;
6. tingkat kepatuhan terhadap ITP;
7. jumlah keluhan mutu;
8. biaya akibat pekerjaan ulang;
9. waktu penyelesaian NCR;
10. tren ketidaksesuaian berdasarkan jenis pekerjaan.

Indikator tersebut dapat disajikan dalam *quality dashboard* sehingga manajemen proyek dapat mengetahui kondisi mutu secara lebih cepat. (Dehbandi et al., 2026).

7.16 Continuous Quality Improvement (CQI)

Data QC dapat digunakan sebagai sumber informasi untuk melakukan *continuous improvement*. Setiap ketidaksesuaian yang ditemukan seharusnya dianalisis untuk mengetahui pola dan akar penyebabnya. Sebagai contoh, apabila NCR mengenai ketidaksesuaian pembesian terjadi berulang kali, permasalahan mungkin bukan hanya kesalahan pekerja. Penyebabnya dapat berupa gambar kerja yang kurang jelas, metode kerja yang tidak memadai, kurangnya inspeksi awal, keterbatasan tenaga terampil, atau komunikasi antarbagian yang tidak efektif. (ISO, 2026; Wawak et al., 2020).

Pendekatan tersebut dapat dikaitkan dengan siklus PDCA sebagaimana terlihat pada gambar berikut



Gambar 7.3 Hubungan QC Dengan PDCA

7.17 Digitalisasi *Quality Control*

Digitalisasi *Quality Control* pada bidang konstruksi merupakan transformasi proses pengendalian mutu dari sistem konvensional berbasis dokumen dan pencatatan manual menuju sistem yang terintegrasi dengan teknologi digital. Digitalisasi memungkinkan proses pemeriksaan material, pekerjaan, metode pelaksanaan, hingga hasil pengujian dilakukan secara lebih cepat, sistematis, terdokumentasi, dan mudah ditelusuri. Dalam proyek konstruksi yang memiliki banyak aktivitas dan melibatkan berbagai pihak, sistem digital dapat meningkatkan konsistensi pengendalian mutu sekaligus mengurangi risiko kesalahan administrasi. (Hussamadin et al., 2023; Dehbandi et al., 2026).

Salah satu penerapan utama digitalisasi *Quality Control* adalah penggunaan aplikasi inspeksi lapangan berbasis tablet atau *smartphone*. *Quality Control Engineer* dapat mengisi *checklist* pemeriksaan secara langsung di lokasi pekerjaan, melampirkan foto, mencatat hasil pengukuran, menentukan status pekerjaan, serta memberikan catatan terhadap ketidaksesuaian. Data tersebut dapat tersimpan dalam basis data proyek sehingga informasi dapat diakses oleh pihak yang memiliki kewenangan secara lebih cepat. (Hussamadin et al., 2023).

Teknologi *Building Information Modeling* (BIM) juga dapat mendukung *Quality Control* dengan menghubungkan informasi mutu dengan elemen tiga dimensi bangunan. Setiap elemen dapat dikaitkan dengan spesifikasi teknis, metode kerja, hasil inspeksi, dan dokumentasi pekerjaan. Dengan demikian, proses pemeriksaan tidak hanya menghasilkan dokumen, tetapi juga membentuk rekam jejak digital dari setiap komponen konstruksi. (Ma et al., 2018; Araya-Santelices et al., 2025).

Digitalisasi juga memungkinkan penerapan *dashboard Quality Control* untuk memantau jumlah inspeksi, *Non-Conformance Report* (NCR), status perbaikan, hasil pengujian material, dan tingkat penyelesaian pekerjaan. Data tersebut dapat dianalisis

untuk mengidentifikasi pola ketidaksesuaian dan area pekerjaan yang memiliki risiko mutu lebih tinggi. (Dehbandi et al., 2026; Aksak & Sakin, 2026).

Dengan demikian, digitalisasi *Quality Control* bukan sekadar mengganti formulir kertas menjadi formulir elektronik. Transformasi ini merupakan perubahan sistem pengendalian mutu menuju proses yang berbasis data, terdokumentasi, terintegrasi, dan mendukung pengambilan keputusan secara lebih cepat serta akurat. (Dehbandi et al., 2026; Aksak & Sakin, 2026).

BAB 8 QUALITY ASSURANCE (QA)

8.1 Pendahuluan

Keberhasilan suatu organisasi tidak hanya ditentukan oleh kualitas produk akhir, tetapi juga oleh kualitas proses yang menghasilkan produk tersebut. Dalam dunia konstruksi, kegagalan kualitas sering kali menyebabkan pembengkakan biaya, keterlambatan proyek, sengketa kontrak, bahkan kegagalan struktur. Oleh karena itu diperlukan pendekatan yang bersifat preventif melalui *Quality Assurance* (QA). (Yarnold et al., 2023; Love et al., 2019) (Wawak et al., 2020)

Menurut ISO 9001:2026, sistem manajemen mutu harus mampu memastikan bahwa seluruh proses organisasi dirancang, dijalankan, dipantau, dan ditingkatkan secara berkelanjutan agar mampu menghasilkan produk atau layanan yang memenuhi kebutuhan pelanggan serta persyaratan hukum yang berlaku. Edisi 2026 memperkuat peran kepemimpinan, budaya mutu (quality culture), pemisahan pengelolaan risiko dan peluang, serta penyelarasan dengan sistem manajemen ISO lainnya. ISO 9001:2026 diterbitkan pada 16 September 2026 dan menggantikan ISO 9001:2015 (ISO, 2026).

Dalam teknik sipil, QA diterapkan sejak tahap:

1. perencanaan,
2. desain,
3. pengadaan material,
4. pelaksanaan konstruksi,
5. hingga serah terima pekerjaan.

Dengan demikian, QA bukan sekadar kegiatan pemeriksaan, melainkan sebuah sistem yang menjamin mutu sejak awal proses. (Ghansah & Edwards, 2024; Yarnold et al., 2023)

8.2 Konsep Dasar *Quality Assurance*

Quality assurance adalah serangkaian kegiatan terencana dan sistematis yang dirancang untuk memberikan keyakinan bahwa suatu produk atau layanan akan memenuhi persyaratan mutu yang telah ditetapkan (ISO, 2026). Kata kunci QA adalah: (ISO, 2026; Yarnold et al., 2023) (Wawak et al., 2020)

1. terencana
2. sistematis
3. preventif
4. berkelanjutan

Berbeda dengan pemeriksaan di akhir pekerjaan, QA berusaha mencegah munculnya cacat sejak awal proses. (Love et al., 2019; Yarnold et al., 2023)

Tujuan utama QA meliputi:

1. mencegah terjadinya kesalahan,
2. meningkatkan konsistensi proses,
3. memenuhi persyaratan pelanggan,
4. mengurangi biaya kegagalan,
5. meningkatkan kepercayaan pemilik proyek,
6. mendukung perbaikan berkelanjutan.

Dalam proyek konstruksi, QA membantu memastikan bahwa beton, baja, tanah, maupun pekerjaan struktur diproduksi sesuai spesifikasi tanpa bergantung semata pada pemeriksaan akhir. (Alia et al., 2022; Yarnold et al., 2023) (Wawak et al., 2020)

8.3 Prinsip *Quality Assurance* Berdasarkan ISO 9001:2026

ISO 9001:2026 tetap mempertahankan prinsip-prinsip utama manajemen mutu, tetapi memperkuat beberapa aspek agar sesuai dengan tantangan organisasi modern. Tujuh prinsip manajemen mutu dapat dilihat pada tabel berikut. (ISO, 2026; Khalfan et al., 2022)

Tabel 8.1 Tujuh Prinsip Manajemen Mutu

Prinsip	Penjelasan
Fokus pelanggan	Memahami kebutuhan pelanggan
Kepemimpinan	Komitmen pimpinan terhadap budaya mutu
Keterlibatan orang	Kompetensi seluruh personel
Pendekatan proses	Mengelola aktivitas sebagai proses yang saling terkait
Perbaikan	<i>Continuous improvement</i>
Keputusan berbasis bukti	Menggunakan data
Manajemen hubungan	Mengelola pemasok dan pemangku kepentingan

ISO 9001:2026 memberikan penekanan lebih besar pada *quality culture*, yaitu budaya organisasi yang menjadikan mutu sebagai tanggung jawab seluruh personel, bukan hanya divisi mutu. (ISO, 2026; Khalfan et al., 2022; Alawag et al., 2023)

8.4 Perbedaan *Quality Assurance* dan *Quality Control*

Meskipun sering dianggap sama, QA dan QC memiliki fungsi berbeda. Berikut penjelasan perbedaan QA dan QC pada proyek gedung. Dalam proyek pembangunan gedung, *Quality Assurance* (QA) dan *Quality Control* (QC) merupakan dua komponen utama dalam manajemen mutu yang saling berkaitan, tetapi memiliki fungsi dan orientasi yang berbeda. Keduanya diperlukan untuk memastikan bahwa pekerjaan konstruksi memenuhi persyaratan kontrak, spesifikasi teknis, gambar kerja, standar nasional, serta persyaratan keselamatan dan kinerja bangunan. (Brooks et al., 2021; Alia et al., 2022)

Quality Assurance (QA) merupakan pendekatan sistematis dan terencana untuk memberikan keyakinan bahwa proses pelaksanaan proyek telah dirancang dan dilaksanakan sesuai dengan persyaratan mutu. QA lebih berorientasi pada pencegahan terjadinya ketidaksesuaian. Dalam proyek gedung, kegiatan QA dilakukan sejak tahap persiapan pekerjaan, bahkan sebelum pekerjaan fisik dimulai. Contoh kegiatan QA antara lain penyusunan *Project Quality Plan* (PQP), prosedur kerja atau *Standard Operating Procedure* (SOP), *Inspection and Test Plan* (ITP), prosedur persetujuan material, prosedur pengendalian dokumen, kualifikasi tenaga kerja, evaluasi pemasok, serta audit internal. QA juga memastikan bahwa setiap pekerjaan memiliki metode pelaksanaan yang jelas dan dapat diverifikasi. (ISO, 2026; Brooks et al., 2021)

Sebagai contoh, sebelum pekerjaan pengecoran kolom dimulai, QA memastikan bahwa telah tersedia metode kerja pengecoran, gambar yang telah disetujui, spesifikasi beton, prosedur pemeriksaan material, ITP, serta formulir inspeksi. Dengan demikian, QA berusaha memastikan bahwa sistem yang digunakan untuk menghasilkan pekerjaan telah memenuhi persyaratan mutu.

Sementara itu, *Quality Control* (QC) merupakan kegiatan operasional untuk memeriksa, mengukur, menguji, dan memverifikasi hasil pekerjaan agar sesuai dengan persyaratan yang telah ditetapkan. QC lebih berorientasi pada deteksi ketidaksesuaian

pada material, proses, maupun hasil pekerjaan. Pada proyek gedung, QC dapat melakukan pemeriksaan dimensi bekisting, pemeriksaan diameter dan jumlah tulangan, pemeriksaan sambungan baja, pemeriksaan slump beton, pengambilan benda uji beton, pemeriksaan kuat tekan beton, pemeriksaan elevasi lantai, pemeriksaan ketebalan plesteran, hingga pemeriksaan hasil pekerjaan arsitektur dan MEP. (Ma et al., 2021; Alia et al., 2022)

Perbedaan mendasar lainnya terletak pada pertanyaan yang ingin dijawab. QA menjawab pertanyaan: "Apakah sistem dan proses yang digunakan sudah mampu menghasilkan pekerjaan yang memenuhi persyaratan?" Sedangkan QC menjawab: "Apakah hasil pekerjaan yang telah dilaksanakan memenuhi persyaratan?"

Dalam praktik proyek, QA dan QC tidak seharusnya dipandang sebagai dua fungsi yang berdiri sendiri. Keduanya membentuk suatu siklus pengendalian mutu. Hasil inspeksi dan pengujian QC dapat menunjukkan adanya ketidaksesuaian. Informasi tersebut kemudian digunakan oleh sistem QA untuk memperbaiki prosedur, metode kerja, pelatihan, atau sistem pengendalian sehingga ketidaksesuaian yang sama tidak berulang. (Love et al., 2019; Brooks et al., 2021)

Misalnya, QC menemukan bahwa hasil kuat tekan beton beberapa benda uji berada di bawah persyaratan. QC mencatat hasil pengujian dan menerbitkan laporan ketidaksesuaian atau *Non-Conformance Report* (NCR). Selanjutnya, QA melakukan evaluasi terhadap sistem, misalnya dengan memeriksa sumber material, prosedur *batching*, pengangkutan beton, waktu pengecoran, metode pemadatan, hingga proses curing. Dengan demikian, QC menemukan masalah, sedangkan QA membantu memastikan akar masalah dan sistem pencegahannya.

Pada proyek gedung yang kompleks, integrasi QA-QC juga penting untuk mendukung traceability. Setiap material dan pekerjaan idealnya dapat ditelusuri melalui dokumen seperti *Material Approval Request* (MAR), *Inspection Request* (IR), hasil pengujian laboratorium, checklist inspeksi, NCR, *Corrective Action Report* (CAR), hingga dokumen *As-Built Drawing* dan *Quality Dossier*. (Choi & Lee, 2022; Huo, 2023)

Dengan demikian, QA dapat dipahami sebagai sistem pencegahan mutu, sedangkan QC merupakan sistem pemeriksaan dan verifikasi mutu. QA berorientasi pada proses dan sistem, sedangkan QC berorientasi pada produk atau hasil pekerjaan. Keduanya harus diterapkan secara terintegrasi sejak pekerjaan persiapan hingga serah terima proyek. (Brooks et al., 2021; Alia et al., 2022)

Secara sederhana, perbandingan QA dan QC dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut.

Tabel 8.2 Perbandingan QA dan QC

Aspek	<i>Quality Assurance</i> (QA)	<i>Quality Control</i> (QC)
Fokus utama	Sistem dan proses	Hasil pekerjaan
Orientasi	Preventif/pencegahan	Detektif/pemeriksaan
Pertanyaan utama	Apakah proses mampu menghasilkan mutu yang dipersyaratkan?	Apakah hasil pekerjaan memenuhi persyaratan?
Waktu pelaksanaan	Sebelum dan selama proses pekerjaan	Selama dan setelah pekerjaan
Sifat kegiatan	Sistematis dan manajerial	Teknis dan operasional
Contoh kegiatan	<i>Quality Plan</i> , SOP, ITP, audit, evaluasi pemasok	Inspeksi, pengukuran, sampling, testing

Dokumen utama	PQP, SOP, ITP, prosedur mutu	Checklist, IR, test report, NCR
Contoh pekerjaan beton	Menetapkan prosedur dan ITP pengecoran	<i>Slump test</i> dan pengujian kuat tekan
Contoh pekerjaan tulangan	Menetapkan prosedur pemeriksaan dan standar penerimaan	Memeriksa diameter, jumlah, jarak, dan posisi tulangan
Ketidaksesuaian	Menganalisis sistem dan mencegah pengulangan	Mengidentifikasi dan melaporkan ketidaksesuaian
Orientasi perbaikan	<i>Corrective & preventive improvement</i>	<i>Corrective action</i> terhadap hasil inspeksi
Output	Sistem mutu yang terkendali	Bukti kesesuaian hasil pekerjaan



Gambar 8.1 Perbandingan QA dan QC

8.6 Komponen Utama *Quality Assurance*

8.6.1 *Standard Operating Procedure* (SOP)

SOP merupakan dokumen yang menjelaskan cara melakukan suatu pekerjaan secara konsisten. Contoh SOP pada konstruksi: (ISO, 2026; Nyakala, 2021)

1. pengecoran beton,
2. pengelasan baja,
3. pemadatan tanah,
4. pemasangan geotekstil.

Struktur SOP

1. tujuan,
2. ruang lingkup,
3. tanggung jawab,
4. langkah kerja,
5. keselamatan kerja,
6. formulir.

8.6.2 Pelatihan

ISO 9001:2026 menempatkan kompetensi personel sebagai bagian penting QA. Jenis pelatihan: (ISO, 2026; Khalfan et al., 2022; Alawag et al., 2023)

1. pelatihan mutu,
2. K3,
3. penggunaan alat,
4. inspeksi,
5. dokumentasi.



Gambar 8.2 Siklus Pelatihan

Pelatihan yang efektif meningkatkan konsistensi pekerjaan dan mengurangi kesalahan manusia. (Yarnold et al., 2023; Alawag et al., 2023)

8.6.3 Dokumentasi

Dokumentasi menjadi bukti objektif bahwa proses telah dilakukan sesuai prosedur. Jenis dokumen QA: (ISO, 2026; Brooks et al., 2021)

1. Manual Mutu,

2. SOP,
3. Work Instruction,
4. Checklist,
5. Form inspeksi,
6. Laporan audit.

8.7 Audit Mutu

Audit merupakan salah satu kegiatan utama QA. Audit adalah proses sistematis untuk memperoleh bukti objektif dan mengevaluasi kesesuaiannya terhadap kriteria audit. Jenis audit: (ISO, 2026; Brooks et al., 2021)

1. audit internal,
2. audit eksternal,
3. audit sertifikasi.



Gambar 8.3 Proses Audit

Tahapan meliputi:

1. perencanaan,
2. pelaksanaan,
3. pelaporan,
4. tindakan korektif,
5. verifikasi.

Audit internal bertujuan menemukan peluang perbaikan sebelum diaudit pihak eksternal. Contoh checklist: (Brooks et al., 2021; Alia et al., 2022)

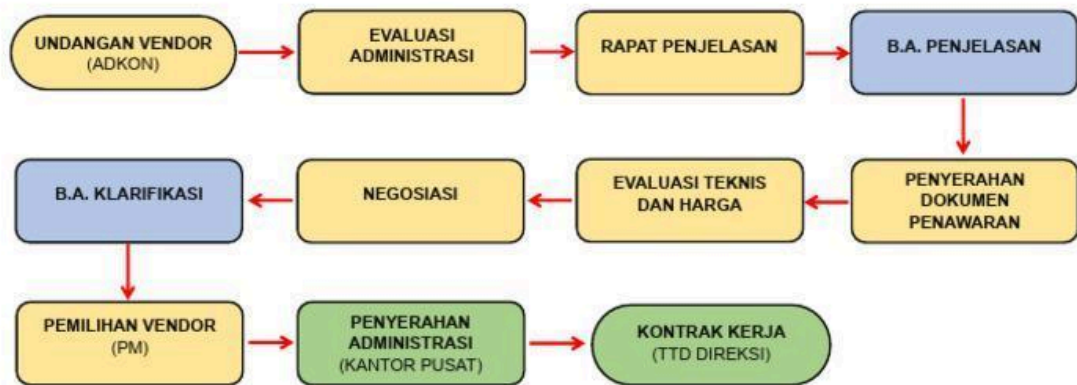
Tabel 8.3 Contoh Checklist Audit Internal

Item	Status
SOP tersedia	Ya
Personel kompeten	Ya
Dokumen terkendali	Ya
Kalibrasi alat	Ya
Tindakan korektif	Belum

8.8 Validasi dan Evaluasi Pemasok

Pemasok memiliki pengaruh besar terhadap mutu. ISO 9001:2026 mengharuskan organisasi mengendalikan penyedia eksternal agar produk yang diterima memenuhi persyaratan mutu. Tahapan validasi meliputi: (ISO, 2026; Alves et al., 2020; Salimian et al., 2021)

1. seleksi,
2. evaluasi,
3. audit,
4. monitoring,
5. re-evaluasi.



Gambar 8.4 Alur Pemilihan Vendor/Subkon

8.9 Contoh *Quality Assurance* dalam Proyek Teknik Sipil

Quality Assurance (QA) merupakan bagian penting dalam sistem manajemen mutu. Contohnya pada proyek pembangunan gedung yang berfungsi memastikan bahwa seluruh proses pekerjaan dilaksanakan berdasarkan prosedur, standar, spesifikasi teknis, dan persyaratan kontrak yang telah ditetapkan. Berbeda dengan *Quality Control* (QC) yang lebih banyak melakukan pemeriksaan terhadap hasil pekerjaan, QA berorientasi pada sistem dan proses untuk mencegah terjadinya ketidaksesuaian sejak awal. Penerapan QA yang efektif membutuhkan beberapa komponen utama yang saling terintegrasi. (Yarnold et al., 2023; Brooks et al., 2021)

1. Komponen pertama adalah *Project Quality Plan* (PQP). Dokumen ini menjadi landasan utama pengelolaan mutu proyek karena menjelaskan sasaran mutu, organisasi mutu, tanggung jawab personel, prosedur pengendalian, metode inspeksi, pengujian, dokumentasi, serta mekanisme penanganan ketidaksesuaian. PQP harus disusun sesuai karakteristik proyek, persyaratan pemilik pekerjaan, dokumen kontrak, spesifikasi teknis, dan peraturan yang berlaku. (Yarnold et al., 2023; Brooks et al., 2021)
2. Komponen kedua adalah pengendalian dokumen. Dalam proyek gedung terdapat berbagai dokumen seperti gambar kerja, spesifikasi teknis, metode pelaksanaan, shop drawing, material approval, laporan inspeksi, dan hasil pengujian. QA memastikan bahwa dokumen yang digunakan di lapangan merupakan dokumen yang telah disetujui dan memiliki status revisi yang benar. Pengendalian dokumen penting

untuk mencegah penggunaan gambar atau spesifikasi yang sudah tidak berlaku. (Brooks et al., 2021)

3. Komponen ketiga adalah *Standard Operating Procedure* (SOP) dan *Method Statement*. SOP menjelaskan tata cara umum pelaksanaan suatu aktivitas, sedangkan Method Statement menjelaskan metode teknis pekerjaan tertentu secara lebih spesifik. Pada pekerjaan struktur gedung, misalnya, diperlukan metode pelaksanaan pekerjaan pembesian, bekisting, pengecoran, pemadatan beton, dan curing. QA memastikan prosedur tersebut telah ditinjau dan disetujui sebelum pekerjaan dilaksanakan. (ISO, 2026; Nyakala, 2021)
4. Komponen keempat adalah *Inspection and Test Plan* (ITP). ITP menetapkan tahapan inspeksi dan pengujian yang harus dilakukan pada setiap pekerjaan, termasuk jenis pemeriksaan, kriteria penerimaan, pihak yang bertanggung jawab, frekuensi pengujian, serta titik pemeriksaan. ITP juga dapat menetapkan hold point dan witness point sehingga pekerjaan tertentu tidak dapat dilanjutkan sebelum persyaratan pemeriksaan terpenuhi. (Ma et al., 2021; Choi & Lee, 2022)
5. Komponen kelima adalah pengendalian material dan pemasok. Material konstruksi seperti semen, baja tulangan, beton, agregat, bata, kaca, waterproofing, dan material MEP harus memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. QA memastikan proses pemilihan pemasok, pengajuan material, pemeriksaan sertifikat, pengujian material, hingga penerimaan material di lapangan dilakukan secara terdokumentasi. (Alves et al., 2020; Salimian et al., 2021; Studer & De Brito Mello, 2021)
6. Komponen keenam adalah kompetensi sumber daya manusia. Mutu pekerjaan sangat dipengaruhi oleh kompetensi personel yang melaksanakan pekerjaan. Oleh karena itu, QA perlu memastikan bahwa tenaga kerja, supervisor, engineer, inspector, operator, dan personel lainnya memiliki kompetensi sesuai dengan tanggung jawabnya. Pelatihan dan briefing mutu juga diperlukan ketika terdapat prosedur baru atau perubahan metode kerja. (Khalfan et al., 2022; Alawag et al., 2023)
7. Komponen ketujuh adalah audit dan evaluasi mutu. Audit internal digunakan untuk menilai apakah sistem manajemen mutu telah diterapkan secara konsisten. Hasil audit dapat digunakan untuk menemukan kelemahan sistem sebelum menimbulkan masalah yang lebih besar. Evaluasi juga dapat dilakukan terhadap pemasok, subkontraktor, prosedur kerja, serta efektivitas tindakan koreksi. (Brooks et al., 2021; Alia et al., 2022)
8. Komponen kedelapan adalah pengendalian ketidaksesuaian dan tindakan perbaikan. Apabila ditemukan pekerjaan yang tidak memenuhi persyaratan, QA memastikan ketidaksesuaian tersebut dicatat, dianalisis penyebabnya, diperbaiki, dan diverifikasi kembali. Dokumen seperti *Non-Conformance Report* (NCR), *Corrective Action Request* (CAR), dan laporan tindak lanjut dapat digunakan untuk memastikan proses penyelesaian terdokumentasi. (Mostofi et al., 2023; Love et al., 2019)

Tabel 8.4 Contoh QA Pada Proyek Teknik Sipil

No.	Komponen QA	Fungsi Utama	Contoh Penerapan pada Proyek Gedung	Dokumen/Bukti
-----	-------------	--------------	-------------------------------------	---------------

1	<i>Project Quality Plan</i> (PQP)	Menetapkan sistem, sasaran, dan strategi mutu proyek	Menentukan sasaran mutu pekerjaan struktur, arsitektur, dan MEP	PQP, <i>Quality Plan</i>
2	Pengendalian Dokumen	Memastikan dokumen yang digunakan merupakan dokumen terkini dan telah disetujui	Mengendalikan revisi gambar kerja dan spesifikasi teknis	<i>Document Register, Drawing Register</i>
3	SOP dan Method Statement	Menetapkan tata cara pelaksanaan pekerjaan	Metode pekerjaan pembesian, bekisting, pengecoran, curing	SOP, Method Statement
4	<i>Inspection and Test Plan</i> (ITP)	Menentukan tahapan inspeksi, pengujian, dan kriteria penerimaan	Menentukan pemeriksaan tulangan dan pengujian beton	ITP, <i>Inspection Request</i>
5	Pengendalian Material	Memastikan material sesuai spesifikasi sebelum digunakan	Verifikasi mutu baja tulangan, beton, agregat, waterproofing	Material Approval, sertifikat material
6	Pengendalian Pemasok/Subkontraktor	Memastikan pihak eksternal mampu memenuhi persyaratan mutu	Evaluasi pemasok beton ready-mix dan subkontraktor MEP	Vendor Evaluation, Subcontractor Assessment
7	Kompetensi Personel	Memastikan personel memiliki kompetensi yang sesuai	Verifikasi kompetensi tenaga las, operator, inspector, dan teknisi	Sertifikat kompetensi, training record
8	Audit Mutu	Memeriksa efektivitas dan kepatuhan	Audit penerapan SOP	Audit Checklist, Audit Report

		terhadap sistem mutu	dan ITP di lapangan	
9	Pengendalian Ketidaksesuaian	Memastikan pekerjaan yang tidak sesuai diidentifikasi dan dikendalikan	Penanganan beton tidak memenuhi persyaratan atau pemasangan tulangan tidak sesuai gambar	NCR, CAR
10	Tindakan Koreksi dan Perbaikan	Menghilangkan penyebab ketidaksesuaian dan mencegah pengulangan	Analisis akar penyebab pekerjaan tidak sesuai dan perbaikan prosedur	<i>Corrective Action Report</i>
11	Pengendalian Rekaman Mutu	Menjamin seluruh bukti mutu terdokumentasi dan dapat ditelusuri	Penyimpanan hasil uji beton, checklist, inspeksi, dan sertifikat material	<i>Quality Records</i>
12	Evaluasi dan <i>Continuous Improvement</i>	Meningkatkan efektivitas sistem mutu berdasarkan hasil evaluasi	Mengevaluasi tren NCR dan hasil audit untuk memperbaiki proses	<i>Evaluation Report, Improvement Plan</i>

Dengan demikian, komponen QA tidak hanya berupa dokumen administrasi, tetapi merupakan suatu sistem yang menghubungkan perencanaan mutu, pengendalian dokumen, prosedur kerja, inspeksi, kompetensi personel, pengendalian material, audit, dan tindakan perbaikan. Pada proyek pembangunan gedung, penerapan komponen-komponen tersebut secara konsisten akan membantu menciptakan proses konstruksi yang terkendali, mengurangi potensi pekerjaan ulang, meningkatkan keterlacakan dokumen, dan mendukung pencapaian mutu bangunan sesuai persyaratan teknis dan kontraktual. (Yarnold et al., 2023; Love et al., 2019)

8.10 Hubungan QA dengan *Risk Management*

ISO 9001:2026 memberikan pemisahan yang lebih jelas antara risiko dan peluang sehingga organisasi dapat mengelolanya secara lebih sistematis. Contoh risiko konstruksi dapat dilihat pada tabel berikut: (ISO, 2026; Mostofi et al., 2023)

Tabel 8.5 Contoh Risiko Proyek Konstruksi

Risiko	QA
Material tidak sesuai	Audit pemasok

Operator kurang kompeten	Pelatihan
Dokumen hilang	Sistem digital
Alat tidak akurat	Kalibrasi

8.11 QA dan *Continuous Improvement*

Perbaikan berkelanjutan merupakan inti ISO 9001. Metode yang umum digunakan: (ISO, 2026; Putri, 2020; del Solar Serrano et al., 2020)

1. PDCA,
2. Kaizen,
3. Root Cause Analysis,
4. CAPA



Gambar 8.5 Hubungan QA Dengan PDCA

8.12 Tantangan Implementasi QA (Khalfan et al., 2022; Alawag et al., 2023; Putri, 2020)

Beberapa tantangan:

1. budaya mutu belum terbentuk,
2. dokumentasi kurang disiplin,
3. resistensi perubahan,
4. keterbatasan SDM,
5. pemasok belum memenuhi standar.

Solusinya:

1. komitmen pimpinan,
2. pelatihan rutin,
3. digitalisasi,
4. audit berkala,
5. evaluasi kinerja.

8.13 Tren Masa Depan *Quality Assurance*

Perkembangan industri konstruksi menunjukkan bahwa *Quality Assurance* (QA) akan semakin bergeser dari pendekatan administratif dan pemeriksaan berbasis dokumen menuju sistem manajemen mutu yang lebih digital, prediktif, terintegrasi, dan berbasis data. Perubahan tersebut dipengaruhi oleh meningkatnya kompleksitas proyek, tuntutan efisiensi biaya dan waktu, kebutuhan keselamatan konstruksi, serta tuntutan terhadap keberlanjutan bangunan. (Ghansah & Edwards, 2024; Huo, 2023)

Salah satu tren utama adalah digitalisasi sistem QA. Dokumen seperti *Project Quality Plan*, *Inspection and Test Plan*, *Method Statement*, *checklist* inspeksi, dan laporan ketidaksesuaian secara bertahap dapat dikelola melalui platform digital. Penggunaan *mobile inspection* memungkinkan inspector melakukan pemeriksaan langsung di lapangan menggunakan tablet atau telepon pintar. Data hasil inspeksi dapat disimpan secara terpusat sehingga status pekerjaan dan ketidaksesuaian dapat dipantau secara *real time*. (Ghansah & Edwards, 2024; Huo, 2023)

Tren berikutnya adalah integrasi QA dengan *Building Information Modeling* (BIM). BIM memungkinkan informasi desain, spesifikasi, material, metode konstruksi, dan data pemeriksaan dikaitkan dengan elemen bangunan tertentu. Dengan pendekatan ini, riwayat mutu suatu elemen, misalnya kolom, balok, atau lantai, dapat ditelusuri secara lebih sistematis. (Choi & Lee, 2022; Huo, 2023; Han et al., 2022) (May et al., 2022; Vincke & Vergauwen, 2022)

Teknologi *Internet of Things* (IoT) juga berpotensi memperkuat QA melalui pengumpulan data secara otomatis. Sensor dapat digunakan untuk memantau temperatur beton, kelembapan, deformasi, *settlement*, getaran, maupun kondisi lingkungan. Data tersebut memungkinkan tim proyek mendeteksi indikasi penyimpangan lebih awal sebelum berkembang menjadi masalah yang lebih besar. (Ghansah & Edwards, 2024; Han et al., 2022; Ma et al., 2021) (Vincke & Vergauwen, 2022)

Selanjutnya, analitik data dan kecerdasan buatan dapat digunakan untuk mengidentifikasi pola ketidaksesuaian berdasarkan data proyek sebelumnya. Pendekatan ini mengubah QA dari sekadar mendeteksi kesalahan menjadi sistem yang mampu memberikan peringatan dini terhadap potensi kegagalan mutu. (Ghansah & Edwards, 2024; Ma et al., 2021; Mostofi et al., 2023) (May et al., 2022)

Tren lainnya adalah integrasi QA dengan prinsip *sustainability* dan *resilience*. Sistem mutu masa depan tidak hanya menilai kesesuaian pekerjaan terhadap gambar dan spesifikasi, tetapi juga mempertimbangkan efisiensi material, pengurangan limbah, penggunaan sumber daya, ketahanan terhadap bencana, serta kinerja bangunan sepanjang siklus hidupnya. (Ghansah & Edwards, 2024; Yarnold et al., 2023)

Dengan demikian, masa depan QA pada proyek sipil akan ditandai oleh integrasi manusia, proses, teknologi digital, dan data. Peran tenaga QA juga akan berkembang dari pemeriksa dokumen menjadi pengelola sistem mutu yang mampu menganalisis data, mengidentifikasi risiko, dan mendorong perbaikan berkelanjutan. (Ghansah & Edwards, 2024; Alawag et al., 2023)

ISO 9001:2026 mendorong organisasi memanfaatkan sistem digital tanpa menghilangkan prinsip dasar manajemen mutu. (ISO, 2026).

BAB 9 SEVEN QUALITY TOOLS (TUJUH ALAT PENGENDALIAN MUTU)

9.1 Pendahuluan

Dalam sistem ISO 9001:2026, organisasi didorong untuk mengambil keputusan berdasarkan bukti (*evidence-based decision making*), membangun budaya mutu (*quality culture*), serta melakukan perbaikan berkelanjutan (*continual improvement*). Salah satu cara paling efektif untuk mewujudkan hal tersebut adalah menggunakan *Seven Quality Tools* atau Tujuh Alat Pengendalian Mutu. (International Organization for Standardization [ISO], 2026)

Seven Quality Tools merupakan seperangkat alat statistik sederhana yang pertama kali dipopulerkan oleh Kaoru Ishikawa. Walaupun sederhana, alat-alat ini mampu menyelesaikan sebagian besar permasalahan mutu dalam industri manufaktur, konstruksi, pendidikan, rumah sakit, maupun instansi pemerintah. (Antony et al., 2021; Barsalou, 2023)

Pada proyek Teknik Sipil, *Seven Quality Tools* dapat digunakan untuk:

1. mengendalikan mutu beton,
2. memonitor pekerjaan timbunan,
3. mengurangi cacat pekerjaan,
4. memperbaiki proses inspeksi,
5. menganalisis penyebab keterlambatan proyek.

9.2 Rincian *Seven Quality Tools*

Tujuh alat mutu dimaksud dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 9.1 Tujuh Alat Mutu

No	Alat	Fungsi Utama
1	Check Sheet	Mengumpulkan data
2	Histogram	Melihat distribusi data
3	Pareto Chart	Menentukan prioritas masalah
4	Fishbone Diagram	Mencari akar penyebab
5	Scatter Diagram	Melihat hubungan dua variabel
6	Control Chart	Mengendalikan stabilitas proses
7	Flowchart	Memetakan proses kerja

9.2.1 *Check Sheet*

Check Sheet adalah formulir sederhana yang digunakan untuk mencatat frekuensi kejadian suatu peristiwa secara sistematis. Tujuan utamanya adalah mengubah observasi lapangan menjadi data yang mudah dianalisis. Contoh penggunaan misal pada pekerjaan pengecoran ditemukan beberapa jenis cacat seperti pada tabel berikut (Manojkumar & Kumar, 2021)

Tabel 9.2 Contoh Cacat Pada Pengecoran Beton

Jenis Cacat	Hari 1	Hari 2	Total
Honeycomb	3	2	5

Retak	1	3	4
Void	2	1	3

Data tersebut nantinya dapat diolah menjadi Pareto atau Histogram. Langkah membuat *check sheet*

1. Tentukan tujuan.
2. Tentukan kategori.
3. Buat tabel.
4. Catat setiap kejadian.
5. Hitung total.

PENGECEKAN DI LAPANGAN												
No.	ITEM PEKERJAAN	OK = ✓ TIDAK OK = X									CATATAN	
		QC/SPV			HLG (PM)			KONTRAKTOR				
		1	2	3	1	2	3	1	2	3		
MATERIAL DAN ALAT												
1	Bata											
2	Water press											
3	Benang											
4	Dalang											
5	Drum (Tempat Rendam batu bata)											
PENGECEKAN												
1	Pastikan dinding sesuai mawung											
2	Verticality bata ringan (toleransi max 2 mm)											
3	Siku siku ut bata ringan (toleransi max 2 mm)											
4	Sier vertikal tidak segaris (standart bata)											
5	Peta bata lain di dinding sesuai dengan standar mawung											
6	Sier Pasangan bata rapat											
7	Kolom praktis tidak segaris											
8	Besi Beton kolom sesuai dengan gambar kerja											
9	Verticality/lot (toleransi 2 mm)											
Pergecekan owner (HLG) Hari/Tgl: _____ Jam: _____ Paraf: _____ Pergecekan Kontraktor Pergecekan 1: _____ Pergecekan 2: _____ Pergecekan 3: _____												
Supervisor Proyek: HLG (Project Manager): KONTRAKTOR: 												

Gambar 9.1 Contoh *Check Sheet*

Kelebihan *check sheet*

1. sangat sederhana,
2. murah,
3. mudah digunakan di lapangan,
4. mengurangi kesalahan pencatatan.

Kelemahan *check sheet*

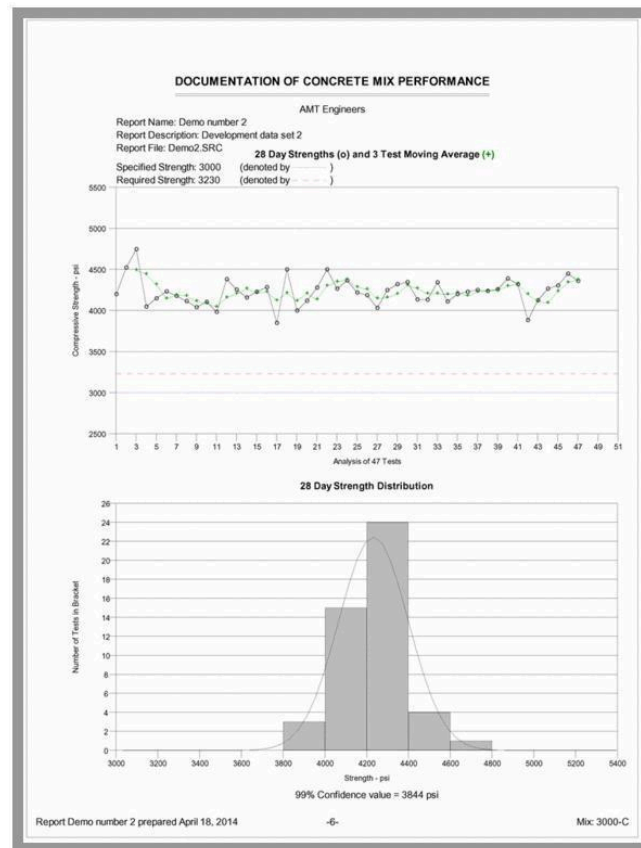
1. tidak menunjukkan hubungan sebab-akibat,
2. perlu analisis lanjutan.

9.2.2 Histogram

Histogram adalah grafik batang yang menunjukkan distribusi frekuensi data. Histogram membantu melihat apakah suatu proses menghasilkan output yang konsisten. Contoh histogram seperti terlihat pada tabel (Antony et al., 2021; Manojkumar & Kumar, 2021)

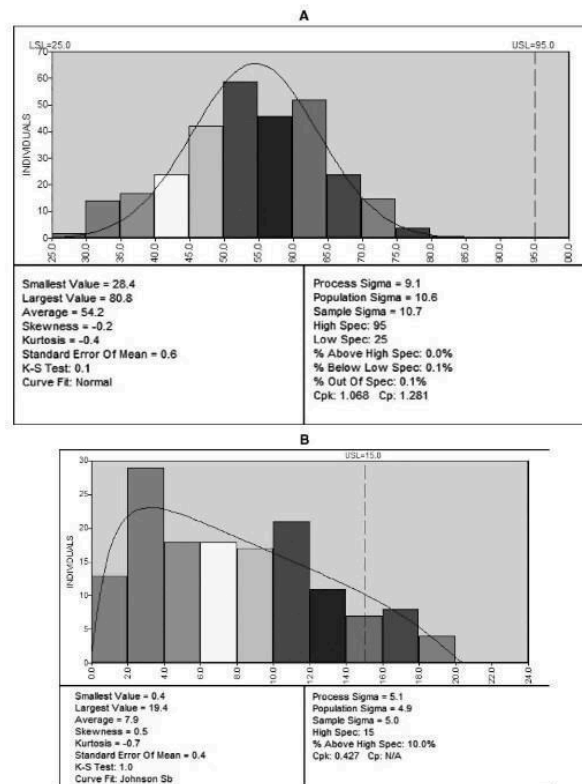
Tabel 9.3 Data Histogram Hasil Uji *Slump* Beton

Slump (cm)	Frekuensi
6-7	2
7-8	6
8-9	12
9-10	8
10-11	2

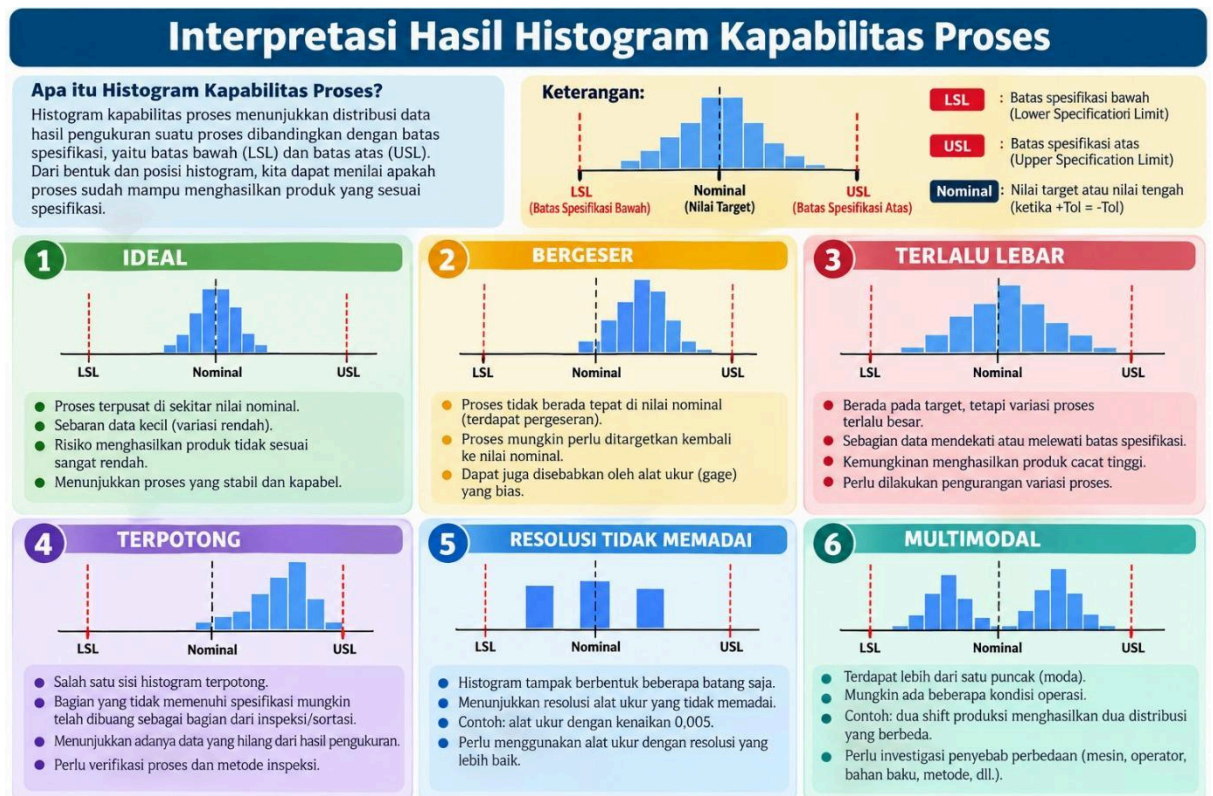


Gambar 9.2 Contoh Laporan Dengan Histogram

Bentuk histogram adalah sebagai berikut



Gambar 9.3 Bentuk Histogram
Interpretasi bentuk histogram adalah sebagai berikut



Gambar 9.4 Interpretasi Hasil Histogram

Pada dunia teknik sipil, histogram dapat digunakan untuk:

1. kuat tekan beton,
2. kadar air tanah,
3. kepadatan timbunan,
4. tebal lapis aspal.

9.2.3 Pareto Chart

Diagram Pareto merupakan salah satu alat pengendalian mutu yang digunakan untuk mengidentifikasi jenis permasalahan yang memberikan kontribusi terbesar terhadap suatu masalah secara keseluruhan. Prinsip Pareto sering dikenal sebagai aturan 80/20, yaitu sebagian besar dampak permasalahan biasanya berasal dari sejumlah kecil penyebab utama. Dalam dunia konstruksi, diagram Pareto dapat digunakan untuk menentukan prioritas perbaikan sehingga sumber daya proyek, seperti tenaga kerja, waktu, biaya, dan material, dapat difokuskan pada masalah yang paling berpengaruh. (Balouchi et al., 2019; Antony et al., 2021)

Sebagai contoh, sebuah proyek pembangunan gedung mengalami berbagai jenis pekerjaan ulang (rework) selama pelaksanaan. Tim Quality Control kemudian mengumpulkan data selama satu bulan untuk mengetahui penyebab utama rework. Hasil pengamatan menunjukkan terdapat enam jenis masalah, yaitu kesalahan pekerjaan pembesian sebanyak 32 kejadian, kesalahan bekisting sebanyak 24 kejadian, mutu beton tidak memenuhi persyaratan sebanyak 18 kejadian, kesalahan pekerjaan pemasangan dinding sebanyak 12 kejadian, kesalahan instalasi MEP sebanyak 8 kejadian, dan masalah finishing sebanyak 6 kejadian. Total permasalahan yang ditemukan adalah 100 kejadian.

Data tersebut dapat disusun berdasarkan jumlah kejadian dari yang terbesar hingga terkecil. Pembesian memberikan kontribusi sebesar 32%, bekisting 24%, mutu beton 18%, pemasangan dinding 12%, instalasi MEP 8%, dan finishing 6%. Selanjutnya dihitung persentase kumulatif. Pembesian menghasilkan kumulatif 32%, pembesian dan bekisting menjadi 56%, kemudian setelah ditambahkan masalah mutu beton menjadi 74%. Setelah pemasangan dinding ditambahkan, persentase kumulatif mencapai 86%.

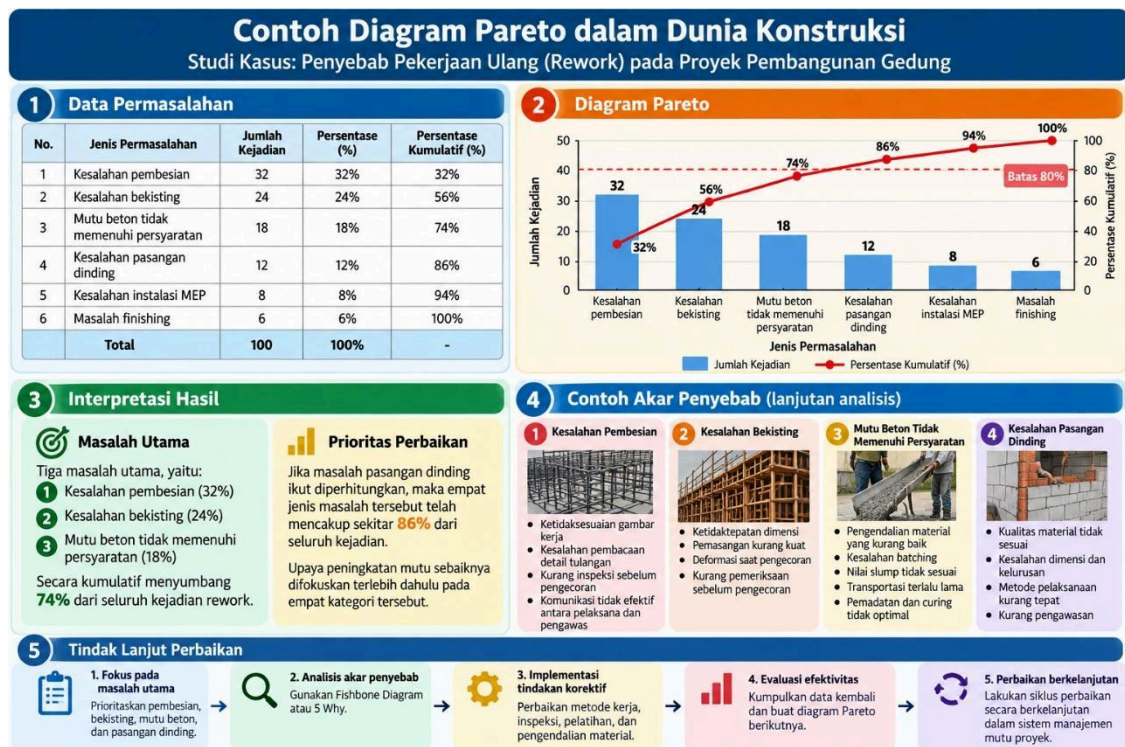
Dalam diagram Pareto, sumbu horizontal menunjukkan jenis permasalahan, sedangkan sumbu vertikal sebelah kiri menunjukkan jumlah atau frekuensi kejadian. Setiap permasalahan ditampilkan dalam bentuk batang yang disusun dari frekuensi terbesar ke terkecil. Selain batang, terdapat garis kumulatif yang menunjukkan akumulasi persentase permasalahan. Garis 80% biasanya digunakan sebagai batas untuk membantu menentukan kelompok masalah yang menjadi prioritas.

Berdasarkan contoh tersebut, tiga masalah utama, yaitu kesalahan pembesian, kesalahan bekisting, dan mutu beton, menghasilkan 74% dari seluruh kejadian rework. Jika masalah pemasangan dinding ikut diperhitungkan, maka empat jenis masalah tersebut telah mencakup sekitar 86% dari seluruh kejadian. Hal ini menunjukkan bahwa upaya peningkatan mutu sebaiknya terlebih dahulu diarahkan pada empat kategori tersebut, bukan langsung menyebarkan sumber daya secara merata pada seluruh jenis masalah.

Sebagai tindak lanjut, tim proyek dapat melakukan analisis akar penyebab menggunakan metode Fishbone Diagram atau 5 Why. Kesalahan pembesian, misalnya, dapat disebabkan oleh ketidaksesuaian gambar kerja, kesalahan pembacaan detail tulangan, kurangnya inspeksi sebelum pengecoran, atau komunikasi yang tidak efektif

antara pelaksana dan pengawas. Masalah bekisting dapat berkaitan dengan ketidaktepatan dimensi, pemasangan yang kurang kuat, atau kurangnya pemeriksaan sebelum pengecoran. Sementara itu, masalah mutu beton dapat ditelusuri melalui pengendalian material, batching, slump, transportasi, pengecoran, pemadatan, dan curing.

Dengan demikian, diagram Pareto tidak hanya berfungsi sebagai grafik statistik, tetapi juga sebagai alat pengambilan keputusan dalam manajemen mutu konstruksi. Diagram ini membantu manajer proyek dan tim Quality Assurance/Quality Control menentukan prioritas perbaikan berdasarkan data aktual. Setelah tindakan korektif diterapkan, data permasalahan dapat dikumpulkan kembali dan dibuat diagram Pareto berikutnya untuk mengetahui apakah frekuensi masalah telah menurun. Siklus tersebut mendukung prinsip continuous improvement atau perbaikan berkelanjutan dalam sistem manajemen mutu proyek konstruksi.



Gambar 9.5 Contoh Penggunaan Diagram Pareto Pada Pekerjaan Konstruksi

9.2.4 Fishbone Diagram

Fishbone Diagram atau Diagram Tulang Ikan digunakan untuk menemukan akar penyebab masalah. Diagram ini juga dikenal sebagai *Cause and Effect Diagram*. Fishbone Diagram merupakan salah satu alat pengendalian mutu yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis berbagai faktor yang menyebabkan terjadinya suatu masalah. Diagram ini dikenal juga sebagai *Cause and Effect Diagram* atau Ishikawa Diagram karena dikembangkan oleh Kaoru Ishikawa. Dalam manajemen mutu konstruksi, *Fishbone Diagram* sangat bermanfaat untuk menelusuri akar penyebab ketidaksesuaian pekerjaan, sehingga tindakan perbaikan tidak hanya menyelesaikan gejala, tetapi juga menghilangkan penyebab utama masalah. (Barsalou, 2023; Manojkumar & Kumar, 2021)

Pada proyek konstruksi, permasalahan mutu dapat muncul dalam berbagai bentuk, seperti kuat tekan beton tidak mencapai spesifikasi, dimensi elemen struktur tidak sesuai

gambar kerja, hasil pekerjaan bekisting tidak presisi, keretakan beton, kebocoran bangunan, kualitas pengelasan yang buruk, atau pekerjaan finishing yang tidak memenuhi standar. Permasalahan tersebut umumnya tidak disebabkan oleh satu faktor saja. Misalnya, rendahnya kuat tekan beton dapat dipengaruhi oleh kualitas material, komposisi campuran, proses pencampuran, metode pengecoran, kondisi lingkungan, kompetensi tenaga kerja, maupun prosedur pengujian.

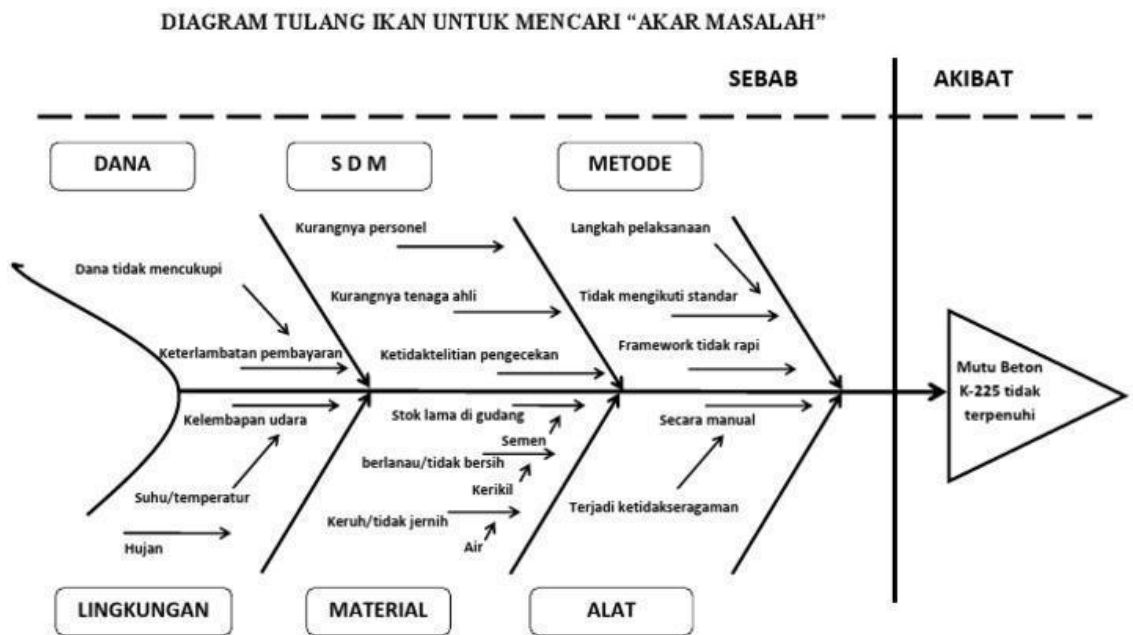
Fishbone Diagram membantu tim proyek mengelompokkan penyebab tersebut secara sistematis. Dalam konstruksi, kategori yang sering digunakan adalah *Man*, *Method*, *Material*, *Machine*, *Measurement*, dan *Environment*. *Man* berkaitan dengan kompetensi, pengalaman, kedisiplinan, dan pemahaman tenaga kerja terhadap prosedur kerja. *Method* mencakup metode pelaksanaan, SOP, instruksi kerja, dan urutan pekerjaan. *Material* berkaitan dengan mutu bahan yang digunakan, seperti semen, agregat, baja tulangan, beton *ready mix*, dan material *finishing*. *Machine* mencakup kondisi dan kalibrasi peralatan yang digunakan. *Measurement* berhubungan dengan metode inspeksi, pengukuran, pengujian, serta keandalan alat ukur. Sementara itu, *Environment* mencakup kondisi lingkungan seperti temperatur, kelembapan, hujan, genangan, kondisi tanah, dan akses lokasi proyek.

Penerapan *Fishbone Diagram* dimulai dengan menentukan masalah secara spesifik. Sebagai contoh, masalah yang dianalisis adalah “kuat tekan beton kolom tidak memenuhi persyaratan”. Tim mutu kemudian melakukan *brainstorming* untuk mengidentifikasi kemungkinan penyebab berdasarkan enam kategori tersebut. Pada kategori material, misalnya, ditemukan kemungkinan penggunaan agregat dengan gradasi tidak sesuai atau mutu beton yang tidak memenuhi spesifikasi. Pada kategori *method* dapat ditemukan ketidaktepatan prosedur pencampuran, pengecoran, atau *curing*. Pada kategori *man* dapat ditemukan kurangnya kompetensi pekerja atau pengawasan yang tidak memadai.

Fishbone Diagram juga dapat dikombinasikan dengan metode analisis lainnya, seperti *5 why*, *Pareto Diagram*, *checklist*, inspeksi lapangan, dan pengujian laboratorium. *Fishbone* digunakan untuk memperluas identifikasi kemungkinan penyebab, sedangkan *5 why* dapat digunakan untuk menggali penyebab yang lebih mendasar. Selanjutnya, *Pareto Diagram* dapat membantu menentukan penyebab yang paling dominan berdasarkan data aktual.

Dalam sistem manajemen mutu konstruksi, hasil analisis *Fishbone Diagram* harus diikuti dengan tindakan korektif dan preventif. Setiap penyebab yang telah teridentifikasi perlu diverifikasi menggunakan bukti objektif, kemudian ditetapkan tindakan perbaikan, penanggung jawab, batas waktu, dan metode verifikasi efektivitasnya. Dengan demikian, *Fishbone Diagram* tidak hanya menjadi alat *brainstorming*, tetapi menjadi bagian dari proses *continuous improvement*.

Penggunaan *Fishbone Diagram* pada akhirnya membantu kontraktor, konsultan pengawas, dan manajemen proyek membangun budaya mutu yang berbasis data dan analisis akar masalah. Pendekatan ini memungkinkan permasalahan konstruksi ditangani secara sistematis, mengurangi pengulangan ketidaksesuaian, meningkatkan efektivitas *Quality Control* dan *Quality Assurance*, serta mendukung pencapaian sasaran mutu proyek dari aspek biaya, waktu, keselamatan, dan kinerja teknis.



Gambar 9.6 Ilustrasi *Fishbone Diagram*

Contoh kasus misal beton mengalami *honeycomb*. Hasil analisis menunjukkan

1. Man: operator kurang pengalaman.
2. Machine: vibrator tidak berfungsi.
3. Method: pengecoran terlalu cepat.
4. Material: agregat terlalu besar.
5. Environment: suhu tinggi mempercepat setting.

Fishbone membantu tim menemukan akar penyebab sebelum mengambil tindakan.

Langkah penyusunan *Fishbone Diagram*

1. Tulis masalah.
2. Buat tulang utama.
3. Tambahkan kategori.
4. *Brainstorm* penyebab.
5. Verifikasi dengan data.

9.2.5 Scatter Diagram

Scatter Diagram digunakan untuk mengetahui hubungan antara dua variabel. Misalnya:

1. kadar air vs kepadatan,
2. slump vs kuat tekan,
3. suhu vs waktu setting.

Scatter diagram atau diagram pencar merupakan salah satu dari tujuh alat dasar pengendalian mutu (*Seven Basic Quality Tools*) yang digunakan untuk menganalisis hubungan atau korelasi antara dua variabel. Dalam manajemen mutu konstruksi, *scatter diagram* membantu tim proyek memahami apakah perubahan pada suatu faktor tertentu memiliki hubungan dengan perubahan pada hasil pekerjaan. Dengan demikian, alat ini dapat digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis data, terutama ketika

proyek menghadapi permasalahan mutu yang penyebabnya belum dapat dipastikan. (Barsalou, 2023)

Prinsip dasar *scatter diagram* adalah memplot pasangan data dari dua variabel pada bidang koordinat. Variabel penyebab atau faktor yang diduga memengaruhi ditempatkan pada sumbu X, sedangkan variabel hasil atau karakteristik mutu ditempatkan pada sumbu Y. Pola titik-titik yang terbentuk kemudian dianalisis untuk melihat kecenderungan hubungan antara kedua variabel tersebut. Hubungan dapat bersifat positif, negatif, atau tidak menunjukkan korelasi yang jelas.

Dalam proyek konstruksi, penerapan *scatter diagram* dapat dilakukan pada berbagai permasalahan. Misalnya, manajer mutu ingin mengetahui hubungan antara durasi *curing* beton dengan kuat tekan beton. Durasi *curing* ditempatkan sebagai variabel X, sedangkan kuat tekan beton sebagai variabel Y. Apabila titik-titik data menunjukkan kecenderungan meningkat dari kiri bawah menuju kanan atas, terdapat indikasi hubungan positif. Artinya, peningkatan durasi *curing* cenderung diikuti peningkatan kuat tekan beton, meskipun hubungan tersebut tetap perlu diverifikasi secara statistik dan teknis.

Contoh lainnya adalah analisis hubungan antara kadar air agregat dengan *slump* beton. Jika perubahan kadar air menyebabkan perubahan *slump* secara konsisten, Scatter Diagram dapat memberikan indikasi bahwa pengendalian kadar air agregat merupakan faktor penting dalam menjaga konsistensi *workability* beton. Informasi tersebut dapat digunakan untuk memperbaiki prosedur batching, inspeksi material, dan pengendalian kadar air sebelum proses pencampuran.

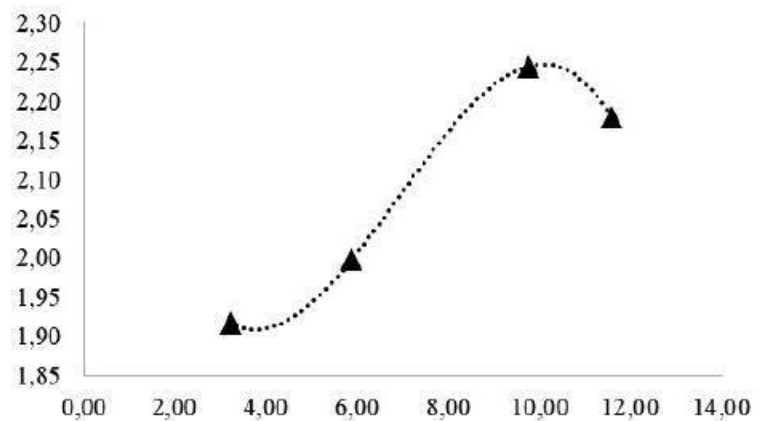
Scatter diagram juga dapat digunakan untuk menganalisis hubungan antara pengalaman tenaga kerja dengan jumlah defect pekerjaan, temperatur lingkungan dengan waktu *setting* beton, jumlah tenaga kerja dengan produktivitas pekerjaan, atau tingkat kepadatan tanah dengan nilai CBR. Pemilihan pasangan variabel harus didasarkan pada hipotesis teknis yang logis dan didukung oleh data lapangan.

Interpretasi *scatter diagram* perlu dilakukan secara hati-hati. Pola positif menunjukkan bahwa ketika variabel X meningkat, variabel Y cenderung meningkat. Pola negatif menunjukkan bahwa peningkatan X cenderung diikuti penurunan Y. Sementara itu, pola yang tersebar secara acak menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel mungkin lemah atau tidak ada. Semakin kuat pola hubungan yang terbentuk, semakin besar indikasi adanya hubungan antara kedua variabel. (Barsalou, 2023)

Namun, korelasi tidak secara otomatis membuktikan hubungan sebab-akibat. Sebagai contoh, apabila ditemukan hubungan antara jumlah pekerja dan jumlah cacat pekerjaan, tidak dapat langsung disimpulkan bahwa peningkatan jumlah pekerja menyebabkan peningkatan cacat. Faktor lain seperti kompleksitas pekerjaan, tekanan waktu, kompetensi tenaga kerja, metode pelaksanaan, dan kondisi lapangan dapat menjadi variabel pengganggu. Oleh karena itu, Scatter Diagram sebaiknya dikombinasikan dengan *fishbone diagram*, *5 why*, *Pareto Diagram*, serta analisis statistik seperti koefisien korelasi dan analisis regresi.

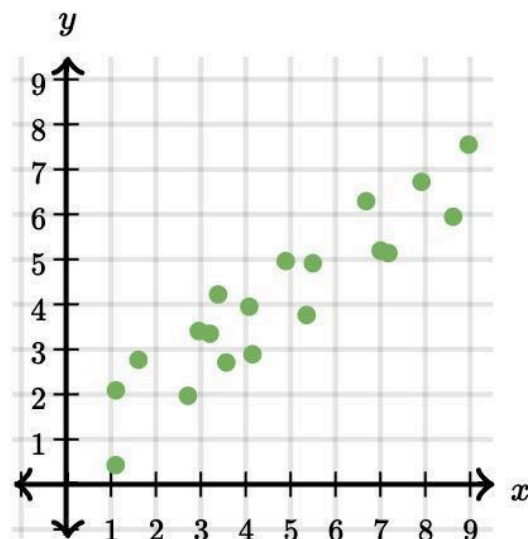
Dalam sistem *Quality Assurance* dan *Quality Control*, *scatter diagram* memiliki peran penting dalam proses *continuous improvement*. Data hasil inspeksi dan pengujian dapat dikumpulkan secara berkala, kemudian dianalisis untuk menemukan pola hubungan antarvariabel. Hasil analisis dapat digunakan untuk menentukan prioritas tindakan korektif, memperbaiki SOP, meningkatkan pengawasan, serta mengoptimalkan metode pelaksanaan.

Dengan demikian, *scatter diagram* bukan sekadar alat untuk membuat grafik hubungan dua variabel, tetapi merupakan instrumen analisis mutu yang membantu tim konstruksi mengubah data lapangan menjadi informasi yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan. Penggunaannya secara konsisten dapat memperkuat pendekatan berbasis bukti dalam manajemen mutu, mengurangi ketidaksesuaian pekerjaan, meningkatkan efektivitas pengendalian proses, dan mendukung tercapainya sasaran mutu proyek konstruksi.

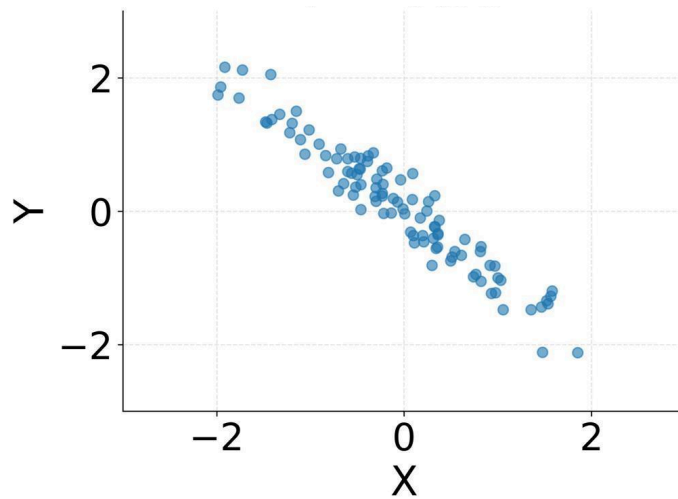


Gambar 9.7 Ilustrasi *Scatter Diagram*

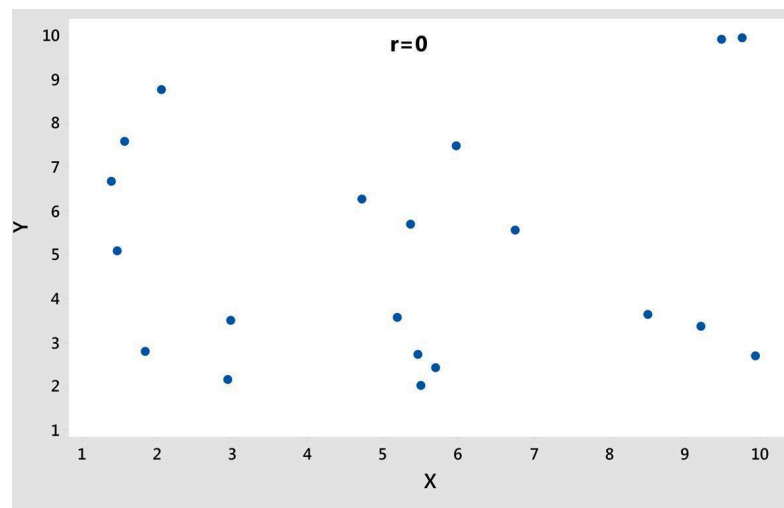
Jenis hubungan pada *Scatter Diagram* dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 9.8 Korelasi Positif



Gambar 9.9 Korelasi Negatif



Gambar 9.10 Tidak Ada Korelasi

Sebagai contoh misal ada data hasil uji laboratorium sebagai berikut
Tabel 9.3 Contoh Data Kadar Air dan Kepadatan

Kadar Air (%)	Kepadatan (%)
18	89
20	93
22	97
24	99
26	96



Gambar 9.11 *Scatter Diagram* Kadar Air vs Kepadatan Tanah

Berdasarkan data tersebut, terlihat bahwa kepadatan tanah meningkat seiring dengan bertambahnya kadar air hingga mencapai kondisi optimum. Pada kadar air 18%, kepadatan yang diperoleh sebesar 89%. Ketika kadar air meningkat menjadi 20%, kepadatan meningkat menjadi 93%, kemudian menjadi 97% pada kadar air 22%.

Kepadatan tertinggi diperoleh pada kadar air 24%, yaitu sebesar 99%. Setelah kadar air dinaikkan menjadi 26%, kepadatan justru mengalami penurunan menjadi 96%. Pola ini menunjukkan adanya kecenderungan hubungan positif pada tahap awal, kemudian mencapai titik optimum dan selanjutnya menunjukkan kecenderungan negatif.

9.2.6 *Control Chart*

Control Chart atau peta kendali merupakan salah satu dari *Seven Basic Quality Tools* yang digunakan untuk memantau kestabilan dan konsistensi suatu proses berdasarkan data yang dikumpulkan secara berurutan. Dalam manajemen mutu konstruksi, *Control Chart* berfungsi sebagai alat pengendalian proses yang membantu tim proyek membedakan variasi normal dari variasi yang disebabkan oleh faktor khusus. Dengan pendekatan ini, pengendalian mutu tidak hanya dilakukan setelah terjadi kerusakan atau ketidaksesuaian, tetapi dapat dilakukan secara proaktif untuk mendeteksi kecenderungan masalah sejak awal. (Toma et al., 2026)

Pada proyek konstruksi, hampir seluruh proses pekerjaan memiliki variasi. Contohnya, kuat tekan beton dari satu benda uji ke benda uji lainnya tidak selalu memiliki nilai yang sama, meskipun beton dibuat berdasarkan desain campuran yang sama. Demikian pula kadar air tanah, kepadatan tanah, ketebalan lapisan, dimensi elemen struktur, waktu pelaksanaan, dan hasil pengujian material dapat mengalami variasi. Variasi tersebut tidak selalu menunjukkan kegagalan mutu. Oleh karena itu, diperlukan alat yang dapat menentukan apakah variasi yang terjadi masih berada dalam kondisi terkendali atau telah menunjukkan adanya masalah khusus.

Control Chart pada dasarnya terdiri atas garis tengah atau *Center Line* (CL), batas kendali atas atau *Upper Control Limit* (UCL), dan batas kendali bawah atau *Lower*

Control Limit (LCL). Data hasil pengukuran kemudian diplot berdasarkan urutan waktu atau urutan proses. Selama titik data berada dalam pola yang stabil dan berada di antara batas kendali, proses dapat dianggap berada dalam kondisi statistik terkendali. Sebaliknya, apabila terdapat titik yang melewati batas kendali atau muncul pola tertentu yang tidak normal, tim mutu perlu melakukan investigasi terhadap proses tersebut.

Dalam konstruksi, salah satu contoh penerapan *control chart* adalah pengendalian kuat tekan beton. Misalnya, setiap hari atau setiap *batch* produksi dilakukan pengujian kuat tekan benda uji. Nilai kuat tekan diplot berdasarkan urutan pengujian. Apabila data menunjukkan variasi yang relatif stabil di sekitar nilai rata-rata, proses produksi beton dapat dianggap konsisten. Namun, apabila terjadi penurunan kuat tekan secara berturut-turut atau terdapat satu hasil yang berada di luar batas kendali, kondisi tersebut perlu dianalisis.

Penyebab variasi khusus dapat berasal dari berbagai faktor, seperti perubahan sumber agregat, kesalahan penimbangan material, perubahan kadar air agregat, kerusakan alat batching, kesalahan prosedur pencampuran, perubahan mutu semen, kesalahan pengambilan sampel, atau ketidaksesuaian prosedur curing. Dengan demikian, *control chart* tidak hanya menunjukkan bahwa terjadi perubahan, tetapi menjadi sinyal bagi tim *quality control* untuk mencari penyebabnya.

Jenis *control chart* yang digunakan harus disesuaikan dengan karakteristik data. Untuk data variabel kontinu, seperti kuat tekan beton, berat jenis, kadar air, atau kepadatan tanah, dapat digunakan $\bar{X}$ -Chart dan R-Chart atau $\bar{X}$ -S Chart. Sementara itu, untuk data atribut seperti jumlah cacat, jumlah pekerjaan tidak sesuai, atau proporsi produk yang gagal inspeksi, dapat digunakan p-Chart, np-Chart, c-Chart, atau u-Chart.

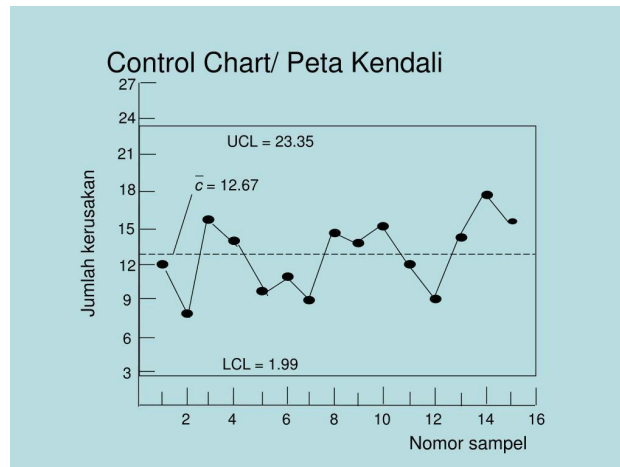
Penggunaan *control chart* juga mendukung penerapan konsep *statistical process control* (SPC) dalam proyek konstruksi. Data historis dapat digunakan untuk menentukan baseline kinerja proses, sedangkan data berikutnya digunakan untuk memonitor perubahan. Apabila proses mulai menunjukkan kecenderungan tertentu, tindakan korektif dapat dilakukan sebelum masalah berkembang menjadi ketidaksesuaian yang lebih besar.

Dalam sistem *quality assurance* dan *quality control*, *control chart* dapat diintegrasikan dengan *Inspection and Test Plan* (ITP), checklist inspeksi, laporan pengujian laboratorium, *Non-Conformance Report* (NCR), dan *Corrective Action Request* (CAR). Hasil monitoring *control chart* dapat menjadi bukti objektif bahwa suatu proses telah dikendalikan secara sistematis.

Dengan demikian, *control chart* memiliki peran penting dalam membangun sistem manajemen mutu konstruksi yang berbasis data. Penggunaannya membantu mengidentifikasi variasi proses, mendeteksi penyimpangan lebih dini, menjaga konsistensi kualitas, dan mendukung tindakan perbaikan berkelanjutan. Penerapan *control chart* yang tepat memungkinkan pengelola proyek beralih dari pendekatan reaktif, yaitu memperbaiki masalah setelah terjadi, menuju pendekatan preventif, yaitu mengendalikan proses agar masalah dapat dicegah sejak awal.

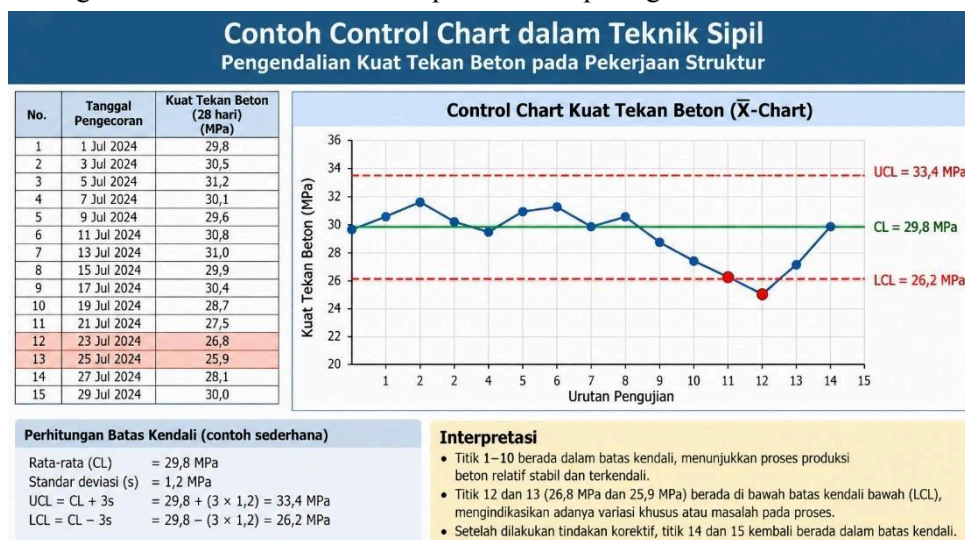
Komponen dalam *control chart* seperti yang sudah disebutkan di atas

1. CL = *Center Line*
2. UCL = *Upper Control Limit*
3. LCL = *Lower Control Limit*



Gambar 9.12 Ilustrasi *Control Chart*

Sebagai contoh kuat tekan beton seperti terlihat pada gambar.



Gambar 9.12 Ilustrasi *Control Chart*

Berdasarkan *control chart* kuat tekan beton pada gambar, nilai rata-rata kuat tekan beton sebesar 29,8 MPa dengan batas kendali atas (UCL) sebesar 33,4 MPa dan batas kendali bawah (LCL) sebesar 26,2 MPa. Sebagian besar hasil pengujian pada titik 1 sampai 10 masih berada di antara batas kendali, sehingga proses produksi beton dapat dikategorikan relatif stabil. Namun, mulai titik pengujian ke-9 terlihat kecenderungan penurunan kuat tekan yang berlanjut hingga titik ke-13. Pada titik ke-12 dan ke-13, kuat tekan masing-masing sebesar 26,8 MPa dan 25,9 MPa, dengan titik ke-13 berada di bawah LCL. Kondisi ini menunjukkan adanya kemungkinan variasi khusus yang perlu diinvestigasi. Penyebabnya dapat berkaitan dengan kualitas material, kadar air agregat, proses batching, pencampuran, pemadatan, atau curing. Setelah tindakan korektif dilakukan, hasil pengujian berikutnya kembali meningkat dan berada dalam batas kendali. Hal ini menunjukkan bahwa pengendalian proses perlu dilakukan secara berkelanjutan untuk mempertahankan konsistensi mutu beton.

Manfaat penggunaan *Control Chart*

1. mendeteksi masalah lebih awal,

2. mengurangi variasi,
3. meningkatkan konsistensi mutu.

9.2.7 Flowchart

Flow chart atau diagram alir merupakan salah satu alat yang digunakan dalam manajemen mutu untuk menggambarkan urutan suatu proses secara sistematis, mulai dari tahap awal hingga menghasilkan keluaran tertentu. Dalam proyek konstruksi, *flow chart* memiliki peran penting karena proses pekerjaan umumnya melibatkan banyak aktivitas, personel, dokumen, pemeriksaan, persetujuan, serta keputusan yang saling berkaitan. Dengan menggambarkan proses secara visual, *flow chart* membantu seluruh pihak memahami bagaimana suatu pekerjaan harus dilaksanakan, siapa yang bertanggung jawab, kapan pemeriksaan dilakukan, dan tindakan apa yang harus dilakukan apabila terjadi ketidaksesuaian. (Del Solar Serrano et al., 2020; Nyakala et al., 2021)

Dalam konteks manajemen mutu konstruksi, *flow chart* dapat digunakan untuk memetakan proses *Quality Assurance* (QA) maupun *Quality Control* (QC). QA lebih berorientasi pada pengendalian sistem dan proses, sedangkan QC berfokus pada pemeriksaan dan pengujian hasil pekerjaan. *Flow chart* dapat menghubungkan kedua pendekatan tersebut sehingga proses pekerjaan tidak hanya menghasilkan produk konstruksi, tetapi juga menghasilkan bukti objektif bahwa setiap tahapan telah dikendalikan sesuai persyaratan mutu.

Sebagai contoh, pada pekerjaan pengecoran beton, *flow chart* dapat dimulai dari pemeriksaan kesiapan gambar kerja dan metode pelaksanaan. Selanjutnya dilakukan pemeriksaan material, seperti semen, agregat, air, dan bahan tambah. Apabila material memenuhi persyaratan, proses dilanjutkan dengan pemeriksaan bekisting dan tulangan. Jika hasil inspeksi memenuhi persyaratan, pengecoran dapat dilaksanakan. Selama pengecoran, dilakukan pengujian slump dan pengambilan benda uji untuk pengujian kuat tekan. Setelah pengecoran selesai, dilakukan proses curing dan pengujian pada umur yang ditentukan. Setiap tahapan memiliki titik keputusan berupa “memenuhi” atau “tidak memenuhi”.

Apabila hasil pemeriksaan tidak memenuhi persyaratan, *Flow Chart* dapat menunjukkan jalur tindakan korektif. Misalnya, apabila hasil pemeriksaan tulangan tidak sesuai gambar kerja, pekerjaan tidak boleh dilanjutkan ke tahap pengecoran. Temuan tersebut harus dicatat dalam checklist inspeksi dan diperbaiki oleh pelaksana. Setelah perbaikan selesai, dilakukan inspeksi ulang. Pengecoran hanya dapat dilaksanakan setelah hasil inspeksi dinyatakan memenuhi persyaratan oleh pihak yang berwenang.

Flow chart juga sangat berguna dalam penyusunan *Standard Operating Procedure* (SOP), *Inspection and Test Plan* (ITP), *method statement*, dan sistem pengendalian dokumen proyek. Diagram alir membantu memastikan bahwa setiap aktivitas memiliki input, proses, pemeriksaan, keputusan, dan output yang jelas. Hal ini dapat mengurangi kemungkinan terjadinya aktivitas yang terlewat, duplikasi pekerjaan, atau ketidakjelasan tanggung jawab antar pihak.

Dalam penerapannya, simbol *flow chart* memiliki fungsi tertentu. Simbol oval umumnya digunakan untuk menunjukkan awal dan akhir proses, persegi panjang menunjukkan aktivitas atau proses, belah ketupat menunjukkan keputusan, sedangkan panah menunjukkan arah aliran proses. Simbol dokumen dapat digunakan untuk menunjukkan formulir, checklist, laporan inspeksi, atau dokumen mutu lainnya.

Penggunaan simbol secara konsisten membuat diagram lebih mudah dipahami oleh engineer, inspector, supervisor, kontraktor, dan konsultan pengawas.

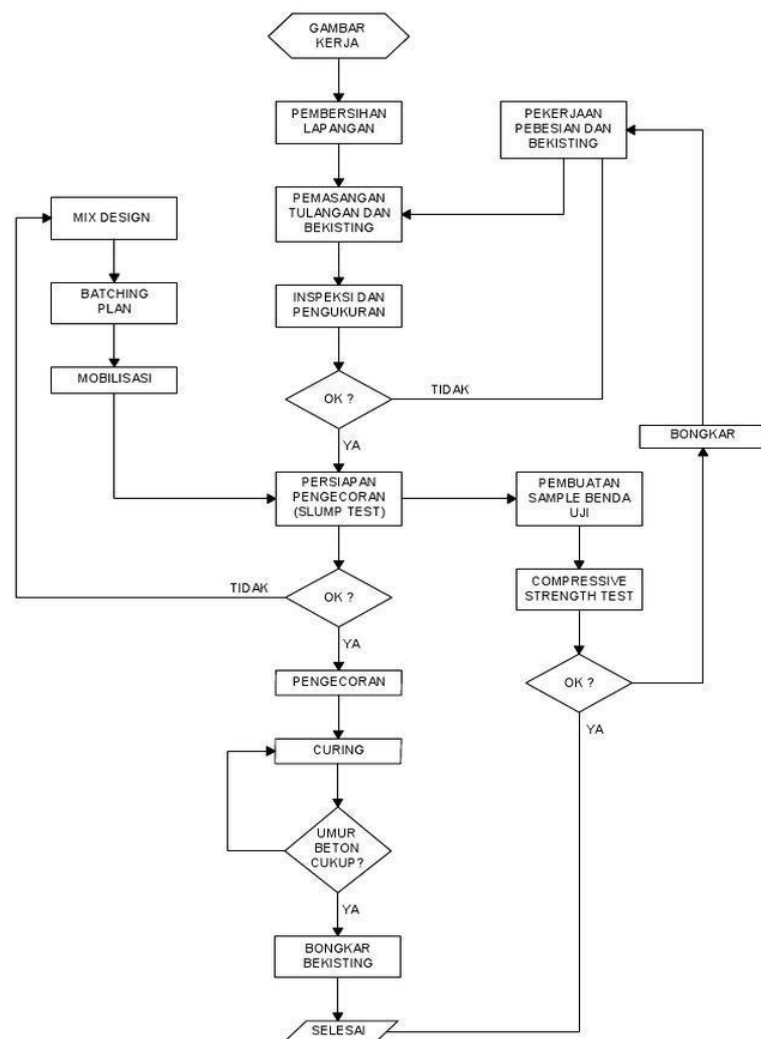
Flow chart juga dapat digunakan untuk menganalisis akar permasalahan. Ketika terjadi ketidaksesuaian, tim mutu dapat menelusuri kembali alur proses untuk menemukan tahapan tempat terjadinya kegagalan pengendalian. Misalnya, apabila ditemukan beton dengan mutu tidak memenuhi persyaratan, *flow chart* dapat digunakan untuk menelusuri proses mulai dari persetujuan mix design, penerimaan material, batching, transportasi, pengecoran, pemadatan, hingga *curing*. Pendekatan ini membantu mengidentifikasi titik kritis yang membutuhkan pengendalian lebih ketat.

Dengan demikian, *flow chart* bukan sekadar alat untuk menggambarkan prosedur kerja, tetapi merupakan instrumen penting dalam sistem manajemen mutu konstruksi. Penggunaan *flow chart* secara sistematis dapat meningkatkan kejelasan proses, mempertegas tanggung jawab, mengurangi kesalahan prosedur, memperkuat dokumentasi mutu, dan mempercepat identifikasi ketidaksesuaian. Integrasinya dengan SOP, ITP, checklist, NCR, dan tindakan korektif menjadikan *flow chart* sebagai salah satu alat efektif untuk membangun proses konstruksi yang terkendali, terdokumentasi, dan berorientasi pada perbaikan berkelanjutan.

No.	Simbol	Nama Simbol	Arti/Fungsi	Contoh dalam Proyek Konstruksi
1		Terminator	Menunjukkan awal atau akhir suatu proses	Mulai pekerjaan pengecoran / pekerjaan selesai
2		Process / Proses	Menunjukkan suatu aktivitas atau tahapan pekerjaan	Pemeriksaan bekisting, pengecoran beton, curing
3		Decision / Keputusan	Menunjukkan titik pengambilan keputusan berdasarkan kondisi tertentu	Apakah hasil inspeksi memenuhi spesifikasi?
4		Flowline / Garis Alir	Menunjukkan arah atau urutan proses	Menghubungkan pemeriksaan material ke tahap berikutnya
5		Input/Output	Menunjukkan data atau informasi yang masuk atau keluar dari suatu proses	Data hasil uji slump, hasil pengujian kuat tekan
6		Document / Dokumen	Menunjukkan dokumen yang digunakan atau dihasilkan	Checklist inspeksi, laporan pengujian, NCR
7		Multiple Documents	Menunjukkan beberapa dokumen yang digunakan atau dihasilkan	Shop drawing, ITP, Method Statement, checklist
8		Preparation /	Menunjukkan kegiatan	Persiapan alat,

		Persiapan	persiapan sebelum proses utama	material, tenaga kerja, dan area kerja
9		Connector	Menghubungkan bagian Flow Chart yang terpisah tetapi masih berada pada halaman yang sama	Penghubung antarbagian prosedur inspeksi
10		Off-Page Connector	Menghubungkan proses yang berlanjut ke halaman lain	Proses QC dilanjutkan pada halaman berikutnya
11		Delay / Penundaan	Menunjukkan adanya waktu tunggu dalam proses	Menunggu hasil uji kuat tekan beton
12		Predefined Process	Menunjukkan proses yang telah memiliki prosedur atau SOP tersendiri	Prosedur penerimaan material sesuai SOP
13		Manual Input	Menunjukkan data yang dimasukkan secara manual	Input hasil pengukuran lapangan oleh inspector
14		Manual Operation	Menunjukkan pekerjaan yang dilakukan secara manual	Pemeriksaan dimensi menggunakan meteran
15		Data Storage	Menunjukkan tempat penyimpanan data atau dokumen	Penyimpanan laporan QC dalam sistem dokumentasi proyek

Dalam manajemen mutu konstruksi, simbol yang paling sering digunakan adalah Terminator, Process, Decision, Flowline, Document, dan Input/Output. Kombinasi simbol tersebut sudah cukup untuk menggambarkan sebagian besar SOP, ITP, prosedur inspeksi, prosedur pengujian, dan alur penanganan ketidaksesuaian pada proyek konstruksi.



Gambar 9.13 Contoh *Flow Chart* Pada Pekerjaan Pengecoran

9.3 Studi Kasus Penggunaan *Seven Quality Tools* Pada Proyek Pembangunan Bendungan

Proyek pembangunan bendungan merupakan pekerjaan konstruksi berskala besar yang memiliki tingkat kompleksitas tinggi karena melibatkan pekerjaan beton massal, struktur hidrolik, pekerjaan tanah, pengendalian rembesan, serta berbagai aktivitas yang harus memenuhi persyaratan teknis dan mutu. Pada studi kasus ini, tim manajemen mutu menemukan beberapa ketidaksesuaian pada pekerjaan beton massal, antara lain retak permukaan, kuat tekan beton yang tidak konsisten, segregasi beton, keterlambatan pengecoran, dan kebocoran pada sambungan. Untuk mengidentifikasi permasalahan secara sistematis, digunakan *Seven Quality Tools* yang terdiri atas *check sheet*, *Pareto Diagram*, *fishbone diagram*, *scatter diagram*, *control chart*, histogram, dan *flow chart*. (Love, 2025; Re Cecconi et al., 2026)

Tahap pertama menggunakan *check sheet* untuk mengumpulkan data ketidaksesuaian secara terstruktur. Berdasarkan data inspeksi selama periode tertentu, ditemukan 120 kejadian ketidaksesuaian. Retak permukaan merupakan masalah paling dominan dengan 45 kejadian, diikuti kuat tekan tidak memenuhi persyaratan sebanyak 30 kejadian, segregasi beton 18 kejadian, keterlambatan pengecoran 12 kejadian, kebocoran pada

sambungan 8 kejadian, dan masalah lainnya sebanyak 7 kejadian. Data tersebut menjadi dasar untuk analisis berikutnya.

Tahap kedua adalah *Pareto Diagram*. Hasil analisis menunjukkan bahwa retak permukaan dan kuat tekan beton yang tidak memenuhi persyaratan merupakan dua masalah utama yang perlu mendapatkan prioritas. Kedua masalah tersebut memberikan kontribusi terbesar terhadap keseluruhan ketidaksesuaian. Prinsip Pareto membantu tim proyek memusatkan sumber daya pada masalah yang memberikan dampak paling besar terhadap mutu, daripada menangani seluruh masalah secara bersamaan.

Tahap ketiga menggunakan *fishbone diagram* untuk mengidentifikasi kemungkinan akar penyebab retak permukaan beton. Analisis dilakukan berdasarkan kategori *Man, Method, Material, Machine, Measurement*, dan *Environment*. Beberapa kemungkinan penyebab yang ditemukan antara lain kompetensi tenaga kerja yang belum memadai, metode curing yang tidak optimal, kadar air agregat yang tidak terkontrol, kerusakan alat batching, pengukuran suhu dan slump yang tidak konsisten, serta temperatur lingkungan yang tinggi. Hasil tersebut kemudian diverifikasi melalui inspeksi lapangan dan data pengujian.

Tahap keempat menggunakan *scatter diagram* untuk menganalisis hubungan antara suhu beton saat pengecoran dan kuat tekan beton. Data menunjukkan kecenderungan hubungan negatif, yaitu peningkatan suhu beton cenderung diikuti penurunan kuat tekan. Temuan ini menjadi dasar bagi tim mutu untuk meningkatkan pengendalian temperatur beton selama proses pengecoran.

Tahap kelima menggunakan *control chart* untuk memantau konsistensi kuat tekan beton. Data hasil pengujian diplot terhadap garis tengah serta batas kendali atas dan bawah. Apabila terdapat pola tidak normal atau hasil berada di luar batas kendali, dilakukan investigasi terhadap proses produksi beton, termasuk material, batching, pencampuran, transportasi, pengecoran, pemadatan, dan *curing*.

Tahap keenam menggunakan histogram untuk melihat distribusi hasil kuat tekan beton. Histogram membantu tim memahami penyebaran data dan mengetahui apakah hasil pengujian terkonsentrasi pada rentang tertentu. Setelah tindakan perbaikan diterapkan, distribusi kuat tekan diharapkan menjadi lebih konsisten dan memenuhi persyaratan desain.

Tahap ketujuh adalah *flow chart* yang digunakan untuk memperjelas alur pengendalian mutu pekerjaan beton massal. Alur dimulai dari persiapan material dan peralatan, pemeriksaan bekisting dan tulangan, verifikasi kesiapan pengecoran, pengecoran, pemadatan, curing, hingga pengujian kuat tekan. Setiap tahap memiliki titik pemeriksaan dan keputusan untuk memastikan pekerjaan hanya dilanjutkan apabila memenuhi persyaratan.

Penerapan *seven quality tools* menghasilkan pendekatan pengendalian mutu yang sistematis. Tim proyek dapat mengidentifikasi masalah utama, menentukan akar penyebab, menganalisis hubungan antarvariabel, memantau stabilitas proses, mengevaluasi distribusi data, dan memperbaiki prosedur kerja. Dengan demikian, *seven quality tools* tidak hanya digunakan untuk menemukan kesalahan setelah pekerjaan selesai, tetapi juga sebagai instrumen pencegahan dan *continuous improvement*. Pada proyek pembangunan bendungan, penerapan alat-alat tersebut dapat meningkatkan konsistensi mutu beton, mengurangi ketidaksesuaian, memperkuat dokumentasi *Quality Assurance* dan *Quality Control*, serta membantu memastikan bahwa pekerjaan memenuhi

persyaratan teknis, keselamatan, waktu, dan kinerja konstruksi. (Manojkumar & Kumar, 2021; Re Cecconi et al., 2026)



Gambar 9.14 Ilustrasi Penggunaan *Seven Quality Tools* Pada Proyek Pembangunan Bendungan

9.4 Integrasi *Seven Quality Tools* Dengan *Continuous Improvement*

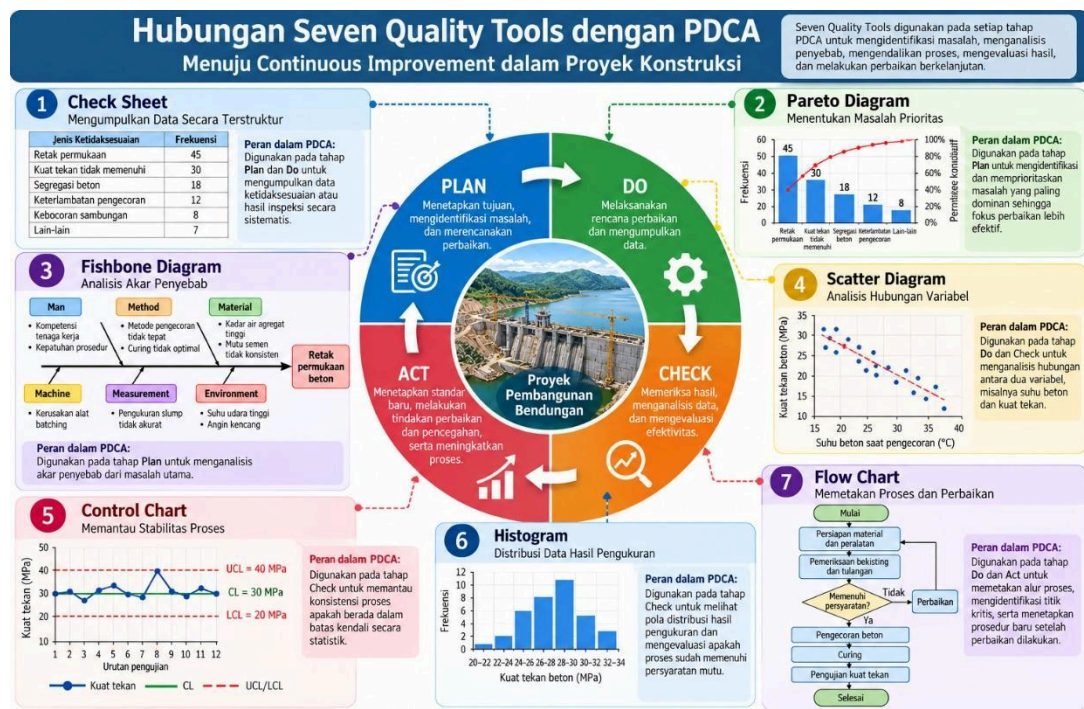
Integrasi *seven quality tools* dengan *continuous improvement* merupakan pendekatan sistematis untuk meningkatkan mutu proses konstruksi secara berkelanjutan. *Seven Quality Tools* yang terdiri atas *Check Sheet*, *Pareto Diagram*, *Fishbone Diagram*, *Scatter Diagram*, *Control Chart*, *Histogram*, dan *Flow Chart* dapat digunakan secara terpadu untuk mengidentifikasi masalah, menganalisis penyebab, mengendalikan proses, dan mengevaluasi efektivitas tindakan perbaikan. (Putri, 2020; Omotayo et al., 2020; Nyakala et al., 2021)

Penerapan dapat dimulai dengan *check sheet* untuk mengumpulkan data ketidaksesuaian secara terstruktur. Data tersebut kemudian dianalisis menggunakan *Pareto Diagram* untuk menentukan masalah yang paling dominan. Setelah prioritas masalah ditetapkan, *fishbone diagram* digunakan untuk mengidentifikasi kemungkinan akar penyebab berdasarkan faktor manusia, metode, material, mesin, pengukuran, dan lingkungan. Hubungan antara faktor tertentu dengan karakteristik mutu dapat dianalisis menggunakan *scatter diagram*.

Selanjutnya, *control chart* digunakan untuk memantau stabilitas proses dari waktu ke waktu, sedangkan histogram membantu mengevaluasi pola distribusi hasil pengukuran.

Flow chart digunakan untuk memetakan proses secara menyeluruh sehingga titik kritis dan peluang perbaikan dapat diidentifikasi dengan lebih jelas.

Hasil analisis kemudian menjadi dasar penyusunan tindakan korektif dan preventif. Setelah tindakan diterapkan, data baru dikumpulkan dan dibandingkan dengan kondisi sebelumnya untuk menilai efektivitas perbaikan. Siklus tersebut dilakukan secara berulang sehingga membentuk budaya *continuous improvement*. Dalam proyek konstruksi, pendekatan ini dapat menurunkan tingkat *defect*, meningkatkan konsistensi mutu, mengurangi pemborosan, dan memperkuat efektivitas *Quality Assurance* serta *Quality Control*. Dengan demikian, *seven quality tools* berfungsi sebagai instrumen berbasis data untuk memastikan peningkatan mutu berlangsung secara terukur, sistematis, dan berkelanjutan. (Del Solar Serrano et al., 2020; Putri, 2020; Re Cecconi et al., 2026)



Gambar 9.15 Ilustrasi *Seven Quality Tools* Dengan PDCA

BAB 10 STATISTICAL QUALITY CONTROL (SQC)

10.1 Pendahuluan

Statistical Quality Control (SQC) merupakan salah satu metode terpenting dalam pengendalian mutu modern. Berbeda dengan inspeksi tradisional yang hanya memisahkan produk baik dan cacat setelah proses selesai, SQC menggunakan analisis statistik untuk memonitor variasi proses sehingga penyimpangan dapat dideteksi sejak dini sebelum menghasilkan produk yang tidak sesuai spesifikasi. (Montgomery, 2019; Wawak et al., 2020)

Dalam lingkungan industri saat ini, termasuk industri konstruksi, manufaktur, laboratorium, dan perguruan tinggi, pendekatan berbasis data menjadi semakin penting. ISO 9001:2026 memperkuat peran organisasi dalam menggunakan informasi terdokumentasi, hasil pengukuran, analisis data, dan evaluasi kinerja sebagai dasar pengambilan keputusan. (International Organization for Standardization [ISO], 2026; Jin et al., 2020)

Pada proyek teknik sipil, *Statistical Quality Control* digunakan untuk mengendalikan:

1. Kuat tekan beton.
2. Kepadatan tanah hasil pemadatan.
3. Kadar air material.
4. Ketebalan lapisan perkerasan.
5. Diameter tulangan baja.
6. Kualitas aspal.
7. Produksi beton ready mix.

Pendekatan statistik memungkinkan organisasi membedakan apakah variasi yang terjadi merupakan variasi normal atau merupakan indikasi adanya masalah proses yang memerlukan tindakan korektif. (Montgomery, 2019)

10.2 Statistical Quality Control (SQC) Pada Manajemen Mutu Proyek Konstruksi

Statistical Quality Control (SQC) merupakan pendekatan pengendalian mutu yang menggunakan metode statistik untuk memantau, menganalisis, dan mengevaluasi variasi yang terjadi selama pelaksanaan proyek konstruksi. Dalam manajemen mutu konstruksi, SQC berperan penting karena karakteristik pekerjaan konstruksi sangat dipengaruhi oleh berbagai sumber variasi, seperti kualitas material, kemampuan tenaga kerja, kondisi lingkungan, metode pelaksanaan, peralatan, serta ketepatan prosedur kerja. Dengan menggunakan data hasil pemeriksaan dan pengujian secara sistematis, SQC membantu tim proyek mengambil keputusan berdasarkan bukti kuantitatif, bukan hanya berdasarkan pengamatan subjektif. (Montgomery, 2019; Wawak et al., 2020)

Penerapan SQC dimulai dengan proses pengumpulan data mutu yang relevan. Data dapat diperoleh dari hasil pengujian kuat tekan beton, kadar air tanah, kepadatan tanah, dimensi elemen struktur, ketebalan lapisan aspal, hasil pengelasan, jumlah cacat pekerjaan, maupun waktu penyelesaian suatu aktivitas. Data tersebut kemudian dianalisis menggunakan metode statistik untuk mengetahui kecenderungan, tingkat variasi, dan penyimpangan dari persyaratan mutu yang telah ditetapkan. Dalam konteks proyek konstruksi, kualitas data sangat menentukan kualitas keputusan. Oleh karena itu, prosedur

pengambilan sampel, frekuensi pengujian, metode pengukuran, dan kompetensi personel harus dikendalikan dengan baik. (Skrzypczak et al., 2020; Choi et al., 2020)

Salah satu alat penting dalam SQC adalah *control chart* atau diagram kendali. Diagram ini digunakan untuk memantau kestabilan proses dari waktu ke waktu dengan membandingkan data aktual terhadap *central line*, *upper control limit* (UCL), dan *lower control limit* (LCL). Apabila data masih berada dalam batas kendali dan tidak menunjukkan pola yang tidak normal, proses dapat dianggap berada dalam kondisi terkendali secara statistik. Sebaliknya, data yang berada di luar batas kendali atau menunjukkan pola tertentu dapat menjadi indikasi adanya penyebab khusus yang perlu ditelusuri. Misalnya, penurunan berturut-turut hasil kuat tekan beton dapat mengindikasikan perubahan mutu bahan, kesalahan proporsi campuran, masalah proses pencampuran, atau ketidaksesuaian metode perawatan beton. (Setiadi et al., 2024; Samuel et al., 2026)

SQC juga dapat digunakan untuk mengevaluasi kemampuan suatu proses dalam memenuhi spesifikasi. Konsep *process capability* memungkinkan tim proyek mengetahui apakah variasi proses masih berada dalam rentang toleransi yang ditentukan. Indikator seperti C_p dan C_{pk} dapat digunakan untuk mengevaluasi kemampuan proses terhadap batas spesifikasi. Nilai kemampuan proses yang rendah menunjukkan bahwa proses memiliki variasi yang relatif besar atau posisi rata-rata proses terlalu dekat dengan batas spesifikasi. Informasi tersebut dapat menjadi dasar untuk melakukan tindakan korektif sebelum ketidaksesuaian berkembang menjadi kerusakan yang lebih besar. (Montgomery, 2019; Cholis et al., 2026)

Selain *control chart* dan *process capability*, SQC dapat diintegrasikan dengan berbagai alat statistik lainnya, seperti histogram, diagram Pareto, diagram sebab-akibat, *scatter diagram*, dan analisis korelasi. Integrasi tersebut memungkinkan tim mutu tidak hanya mengetahui bahwa terjadi penyimpangan, tetapi juga memahami pola dan kemungkinan penyebabnya. Sebagai contoh, histogram dapat digunakan untuk melihat distribusi hasil kuat tekan beton, sedangkan diagram Pareto dapat digunakan untuk menentukan jenis ketidaksesuaian yang paling dominan. Selanjutnya, diagram sebab-akibat dapat digunakan untuk mengidentifikasi faktor penyebab dari ketidaksesuaian tersebut. (Wawak et al., 2020; Ford et al., 2023)

Dalam sistem manajemen mutu proyek konstruksi, penerapan SQC sebaiknya dilakukan secara terintegrasi dengan *Quality Assurance* (QA), *Quality Control* (QC), *Inspection and Test Plan* (ITP), serta proses *Continuous Improvement*. Data hasil inspeksi dan pengujian tidak hanya digunakan untuk menentukan apakah suatu pekerjaan diterima atau ditolak, tetapi juga menjadi masukan untuk memperbaiki proses. Dengan demikian, SQC mengubah data mutu menjadi informasi yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan. (Egwunatum et al., 2022; ISO, 2026)

Penerapan SQC yang konsisten dapat memberikan beberapa manfaat strategis, antara lain mengurangi variasi proses, mendeteksi masalah lebih awal, mengurangi pekerjaan ulang, meningkatkan konsistensi kualitas, mengoptimalkan penggunaan material, dan mengurangi risiko kegagalan konstruksi. Pada akhirnya, SQC tidak hanya berfungsi sebagai alat pemeriksaan hasil pekerjaan, tetapi sebagai mekanisme pengendalian berbasis data untuk memastikan bahwa proses konstruksi berlangsung secara stabil, terukur, dan memenuhi persyaratan teknis. Oleh karena itu, SQC merupakan salah satu pendekatan penting dalam membangun sistem manajemen mutu proyek konstruksi yang

efektif, preventif, dan berorientasi pada peningkatan kinerja secara berkelanjutan. (Love et al., 2020; Ford & Gosling, 2024)

10.3 Hubungan SQC Dengan ISO 9001:2026

ISO 9001:2026 mempertahankan pendekatan proses (*process approach*) sekaligus memperkuat budaya mutu, kepemimpinan, serta penggunaan data untuk meningkatkan efektivitas sistem manajemen mutu. SQC menjadi alat praktis dalam memenuhi beberapa klausul penting. (ISO, 2026)

Catatan: Pada ISO 9001:2026, continual improvement berada pada Klausul 10.1; Klausul 10.3 tidak lagi digunakan sebagai subklausul terpisah (ISO, 2026).

Tabel 10.1 Hubungan SQC Dengan ISO 9001: 2026

Klausul ISO 9001:2026	Hubungan dengan SQC
6.1	Pengelolaan risiko dan peluang
7.1	Penggunaan sumber daya pengukuran
9.1	Monitoring, measurement, analysis
9.3	Management Review berbasis data
10.2	Tindakan korektif
10.1	<i>Continual improvement</i> berbasis hasil monitoring, <i>measurement</i> , <i>analysis</i> , <i>evaluation</i> , dan <i>management review</i>

10.4 Parameter Statistik Yang Digunakan Dalam SQC

Dalam *Statistical Quality Control* (SQC) pada proyek konstruksi, parameter statistik digunakan untuk mengukur nilai pusat data, tingkat variasi, pola penyimpangan, serta kemampuan proses dalam memenuhi persyaratan mutu. Parameter tersebut membantu *Quality Control* (QC) dan *Quality Assurance* (QA) mengambil keputusan berdasarkan data hasil inspeksi dan pengujian. (Montgomery, 2019)

10.4.1 Rata-rata (*Mean*)

Rata-rata merupakan parameter yang menunjukkan nilai pusat dari sekumpulan data.

Rumus:

$$\bar{x} = \sum x_i / n$$

Keterangan:

$\bar{x}$ = nilai rata-rata

x_i = nilai pengamatan ke-i

n = jumlah data

Dalam konstruksi, *mean* dapat digunakan untuk mengetahui rata-rata kuat tekan beton, rata-rata ketebalan lapisan aspal, rata-rata kepadatan tanah, atau rata-rata dimensi elemen struktur. Contoh: apabila hasil pengujian kuat tekan 10 benda uji memiliki rata-rata 29,8 MPa, maka 29,8 MPa merupakan gambaran nilai pusat hasil pengujian tersebut. (Montgomery, 2019)

10.4.2 Median

Median adalah nilai tengah setelah seluruh data diurutkan dari nilai terkecil sampai terbesar. Parameter ini bermanfaat ketika data memiliki nilai yang sangat tinggi atau sangat rendah sehingga rata-rata dapat terpengaruh secara signifikan. Dalam proyek konstruksi, *median* dapat digunakan untuk menganalisis waktu penyelesaian pekerjaan, jumlah cacat pekerjaan, atau data produktivitas tenaga kerja.

10.4.3 Modus (*Mode*)

Mode merupakan nilai yang paling sering muncul dalam suatu kumpulan data. Dalam konstruksi, modus dapat digunakan untuk mengetahui ukuran cacat yang paling sering terjadi, jenis ketidaksesuaian yang dominan, atau ukuran dimensi hasil pekerjaan yang paling banyak ditemukan.

10.4.4 Rentang (*Range*)

Range menunjukkan selisih antara nilai maksimum dan minimum. Rumus:

$$R = X_{\max} - X_{\min}$$

Misalnya hasil kuat tekan beton adalah 28,5–31,2 MPa, maka:

$$R = 31,2 - 28,5 = 2,7 \text{ MPa}$$

Semakin besar *range*, semakin besar indikasi variasi data.

10.4.5 Varians (*Variance*)

Varians menunjukkan tingkat penyebaran data terhadap nilai rata-ratanya. Rumus untuk data sampel:

$$s^2 = \Sigma(x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)$$

Varians banyak digunakan sebagai dasar analisis variasi proses. Dalam konstruksi, parameter ini dapat membantu mengevaluasi konsistensi mutu beton, kepadatan tanah, dimensi pekerjaan, dan hasil pengujian material.

10.4.6 Simpangan Baku (*Standard Deviation*)

Simpangan baku atau *standard deviation* merupakan salah satu parameter terpenting dalam SQC. Parameter ini menunjukkan seberapa besar penyebaran data terhadap rata-rata. Rumus:

$$s = \sqrt{[\Sigma(x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)]}$$

Nilai *standard deviation* yang semakin kecil menunjukkan data yang semakin terkonsentrasi di sekitar rata-rata. Dalam pengendalian mutu beton, misalnya, simpangan baku digunakan untuk mengevaluasi konsistensi hasil kuat tekan. Variasi yang terlalu besar dapat menunjukkan ketidakstabilan proses produksi atau pelaksanaan.

10.4.7 Koefisien Variasi (*Coefficient of Variation*)

Coefficient of Variation (CV) menunjukkan variasi relatif terhadap nilai rata-rata. Rumus:

$$CV = (s / \bar{x}) \times 100\%$$

Parameter ini sangat berguna untuk membandingkan tingkat variasi dari dua kelompok data yang memiliki skala atau nilai rata-rata berbeda. Sebagai contoh, CV dapat digunakan untuk membandingkan konsistensi hasil kuat tekan beton dari dua proyek atau dua metode produksi beton.

10.4.8 Persentil dan Kuartil

Percentile dan *quartile* digunakan untuk mengetahui posisi suatu data dalam distribusi. Contohnya:

1. Q1 = kuartil pertama
2. Q2 = median

3. Q3 = kuartil ketiga

Parameter tersebut dapat digunakan untuk mengevaluasi distribusi waktu pekerjaan, produktivitas tenaga kerja, hasil pengujian material, maupun variasi dimensi konstruksi.

10.4.9 *Control Limits* (Montgomery, 2019)

Dalam diagram kendali, terdapat tiga parameter utama:

1. *Center Line* (CL)
2. *Upper Control Limit* (UCL)
3. *Lower Control Limit* (LCL)

Untuk pendekatan 3-sigma:

$$UCL = \bar{x} + 3s$$

$$CL = \bar{x}$$

$$LCL = \bar{x} - 3s$$

Parameter ini digunakan untuk menentukan apakah variasi proses masih berada dalam batas kendali statistik. Perlu dibedakan antara *control limits* dan *specification limits*. *Control limits* berasal dari karakteristik statistik proses, sedangkan *specification limits* berasal dari persyaratan teknis atau kontrak.

10.4.10 *Batas Spesifikasi (Specification Limits)*

Batas spesifikasi biasanya terdiri atas:

1. *USL = Upper Specification Limit*
2. *LSL = Lower Specification Limit*

Contohnya, apabila spesifikasi kuat tekan beton mensyaratkan nilai minimum tertentu, maka nilai tersebut menjadi LSL. Parameter ini digunakan untuk menentukan apakah hasil pekerjaan memenuhi persyaratan teknis yang ditetapkan dalam spesifikasi proyek.

10.4.11 *Indeks Kapabilitas Proses (Process Capability Index)* (Montgomery, 2019; Cholis et al., 2026)

SQC juga menggunakan *process capability* untuk mengevaluasi kemampuan proses menghasilkan produk yang konsisten dalam batas spesifikasi. Dua indeks yang umum digunakan adalah Cp dan Cpk.

Rumus Cp:

$$Cp = (USL - LSL) / 6s$$

Sedangkan:

$$Cpk = \min[(USL - \bar{x}) / 3s, (\bar{x} - LSL) / 3s]$$

Cp menunjukkan kemampuan potensial proses berdasarkan variasinya, sedangkan Cpk mempertimbangkan sekaligus variasi dan posisi rata-rata proses terhadap batas spesifikasi. Dalam konstruksi, parameter ini dapat digunakan untuk mengevaluasi apakah proses produksi beton, fabrikasi baja, produksi komponen pracetak, atau pekerjaan dengan toleransi dimensi tertentu memiliki kemampuan yang memadai.

10.4.12 *Proporsi Ketidaksesuaian (Defect Proportion)* (Montgomery, 2019)

Parameter ini menunjukkan proporsi produk atau pekerjaan yang tidak memenuhi persyaratan. Rumus:

$$p = \text{jumlah unit tidak sesuai} / \text{jumlah unit diperiksa}$$

Sebagai contoh, dari 200 titik pemeriksaan pekerjaan beton ditemukan 8 titik tidak sesuai:

$$p = 8 / 200 = 0,04 = 4\%$$

Parameter ini berguna untuk memantau tingkat *nonconformity* dari waktu ke waktu.

10.4.13 Tingkat Cacat (*Defect Rate*) (Montgomery, 2019)

Defect rate menunjukkan tingkat terjadinya cacat dalam suatu proses. Contohnya:

$$Defect Rate = \frac{Jumlah\ cacat}{Total\ kesempatan\ cacat} \times 100\%$$

Dalam konstruksi, parameter ini dapat digunakan untuk mengevaluasi cacat bekisting, pekerjaan pembesian, pengecoran, pekerjaan pemasangan, pekerjaan finishing, maupun pekerjaan jalan.

10.4.14 Korelasi (*Correlation*) (Montgomery, 2019)

Korelasi digunakan untuk mengetahui hubungan antara dua variabel. Contohnya:

1. kadar air tanah dengan kepadatan tanah;
2. umur beton dengan kuat tekan;
3. kadar semen dengan kuat tekan;
4. temperatur pengecoran dengan hasil kuat tekan;
5. pengalaman pekerja dengan jumlah *rework*.

Koefisien korelasi biasanya dinyatakan dengan r , dengan rentang:

$$-1 \leq r \leq +1$$

Nilai yang mendekati $+1$ atau -1 menunjukkan hubungan yang kuat, sedangkan nilai yang mendekati 0 menunjukkan hubungan linear yang lemah.

10.4.15 Regresi (*Regression*) (Montgomery, 2019)

Regression analysis digunakan untuk membangun hubungan matematis antara variabel bebas dan variabel terikat. Sebagai contoh, hubungan antara umur beton dan kuat tekan dapat dimodelkan dengan persamaan tertentu. Dalam manajemen mutu, analisis ini dapat membantu memprediksi kecenderungan mutu berdasarkan variabel proses.

10.4.16 Nilai-Z (*Z-Score*) (Montgomery, 2019)

Z-score menunjukkan posisi suatu hasil pengujian terhadap rata-rata dalam satuan simpangan baku. Rumus:

$$Z = (x - \bar{x}) / s$$

Parameter ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi hasil pengujian yang secara statistik jauh dari nilai rata-rata atau berpotensi menjadi *outlier*.

10.4.17 Nilai-P (*P-Value*) (Montgomery, 2019)

Dalam pengujian hipotesis, *p-value* digunakan untuk menentukan apakah suatu perbedaan atau hubungan secara statistik cukup kuat untuk dianggap signifikan. Contohnya, tim mutu dapat menguji apakah perubahan metode pengecoran menghasilkan perbedaan kuat tekan yang signifikan secara statistik.

Secara praktis, parameter yang paling fundamental untuk SQC proyek konstruksi adalah *mean*, *standard deviation*, *control limits*, *USL/LSL*, *Cp*, *Cpk*, dan *defect rate*. Parameter tersebut membentuk dasar untuk mengubah data hasil inspeksi dan pengujian

menjadi informasi pengendalian mutu. Selanjutnya, korelasi, regresi, dan pengujian hipotesis dapat digunakan ketika analisis membutuhkan tingkat statistik yang lebih lanjut. Dengan pendekatan tersebut, SQC tidak hanya menjawab pertanyaan “apakah pekerjaan memenuhi spesifikasi?”, tetapi juga “seberapa konsisten prosesnya?”, “seberapa besar variasinya?”, dan “apakah proses mampu menghasilkan mutu yang dipersyaratkan secara berulang?”.

10.5 Contoh Kasus Statistical Quality Control (SQC) Pada Proyek Konstruksi (Setiadi et al., 2024; Setiawan et al., 2025; Samuel et al., 2026)

Sebuah proyek pembangunan gedung sekolah dua lantai menggunakan struktur beton bertulang dengan mutu beton rencana $f'_c = 25$ MPa. Salah satu pekerjaan yang dianggap kritis adalah pekerjaan struktur beton karena kualitas beton sangat berpengaruh terhadap keamanan, kekuatan, dan kinerja struktur bangunan.

Tim *Quality Control* (QC) melakukan pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari. Pengujian dilakukan terhadap 10 kelompok benda uji yang berasal dari beberapa pekerjaan pengecoran kolom, balok, dan pelat. Data hasil pengujian kemudian dianalisis menggunakan Statistical Quality Control (SQC) untuk mengetahui konsistensi dan kestabilan proses produksi beton. (Setiadi et al., 2023; Samuel et al., 2026)

Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian kuat tekan beton umur 28 hari adalah sebagai berikut:

Sampel 1: Kolom = 26,2 MPa

Sampel 2: Balok = 25,8 MPa

Sampel 3: Pelat = 26,5 MPa

Sampel 4: Kolom = 24,9 MPa

Sampel 5: Balok = 25,7 MPa

Sampel 6: Pelat = 26,1 MPa

Sampel 7: Kolom = 25,3 MPa

Sampel 8: Balok = 24,8 MPa

Sampel 9: Pelat = 26,4 MPa

Sampel 10: Kolom = 25,6 MPa

Data tersebut digunakan untuk mengetahui nilai rata-rata, simpangan baku, serta batas kendali proses.

Menghitung Nilai Rata-Rata

Rata-rata digunakan untuk mengetahui nilai pusat dari seluruh hasil pengujian.

Rumus:

$$\bar{x} = \Sigma x / n$$

Keterangan:

$\bar{x}$ = nilai rata-rata

Σx = jumlah seluruh data

n = jumlah data

Jumlah seluruh hasil pengujian:

$$\Sigma x = 26,2 + 25,8 + 26,5 + 24,9 + 25,7 + 26,1 + 25,3 + 24,8 + 26,4 + 25,6$$

$$\Sigma x = 257,3 \text{ MPa}$$

Jumlah data:

$$n = 10$$

Maka:

$$\bar{x} = 257,3 / 10$$

$$\bar{x} = 25,73 \text{ MPa}$$

Dengan demikian, nilai rata-rata kuat tekan beton adalah 25,73 MPa.

Menghitung Simpangan Baku

Simpangan baku atau Standard Deviation digunakan untuk mengetahui tingkat variasi data terhadap nilai rata-ratanya.

Rumus:

$$s = \sqrt{[\Sigma(x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)]}$$

Berdasarkan data hasil pengujian, diperoleh nilai simpangan baku sekitar:

$$s = 0,61 \text{ MPa}$$

Nilai tersebut menunjukkan bahwa variasi hasil pengujian relatif kecil terhadap nilai rata-ratanya. Semakin kecil nilai simpangan baku, semakin konsisten hasil pengujian. Sebaliknya, simpangan baku yang semakin besar menunjukkan bahwa hasil pengujian memiliki variasi yang lebih tinggi.

Menentukan Batas Kendali

Untuk contoh sederhana ini digunakan batas kendali 3-sigma. Batas kendali terdiri atas Upper Control Limit (UCL), Center Line (CL), dan Lower Control Limit (LCL).

Center Line:

$$CL = \bar{x}$$

$$CL = 25,73 \text{ MPa}$$

Upper Control Limit:

$$UCL = \bar{x} + 3s$$

$$UCL = 25,73 + (3 \times 0,61)$$

$$UCL = 27,56 \text{ MPa}$$

Lower Control Limit:

$$LCL = \bar{x} - 3s$$

$$LCL = 25,73 - (3 \times 0,61)$$

$$LCL = 23,90 \text{ MPa}$$

Dengan demikian diperoleh:

$$UCL = 27,56 \text{ MPa}$$

$$CL = 25,73 \text{ MPa}$$

$$LCL = 23,90 \text{ MPa}$$

Interpretasi Diagram Kendali

Berdasarkan hasil perhitungan, seluruh hasil pengujian kuat tekan beton berada di antara batas kendali bawah sebesar 23,90 MPa dan batas kendali atas sebesar 27,56 MPa. Tidak terdapat hasil pengujian yang berada di luar batas kendali. Berdasarkan pendekatan sederhana tersebut, proses produksi beton dapat dianggap berada dalam kondisi terkendali secara statistik.

Namun, kondisi terkendali secara statistik tidak secara otomatis berarti bahwa seluruh hasil pekerjaan telah memenuhi persyaratan teknis proyek. Hal ini disebabkan oleh perbedaan antara *control limits* dan *specification limits*.

Control limits merupakan batas yang dihitung berdasarkan karakteristik statistik proses. Sementara itu, *specification limits* merupakan batas yang ditetapkan berdasarkan persyaratan desain, spesifikasi teknis, standar, atau dokumen kontrak.

Dalam kasus ini, mutu beton yang direncanakan adalah $f'_c = 25$ MPa. Nilai rata-rata hasil pengujian adalah 25,73 MPa. Dengan demikian, rata-rata hasil pengujian berada di atas mutu beton rencana. Namun, terdapat hasil pengujian sebesar 24,8 MPa pada sampel nomor 8. Hasil tersebut harus dievaluasi berdasarkan kriteria penerimaan beton yang berlaku dalam spesifikasi proyek dan standar yang digunakan. Oleh karena itu, keputusan menerima atau menolak pekerjaan tidak boleh hanya didasarkan pada diagram kendali.

Contoh Terjadinya Kecenderungan Penurunan (Montgomery, 2019; Samuel et al., 2026)

Misalkan pada pengujian berikutnya diperoleh data:

Sampel 11 = 25,2 MPa

Sampel 12 = 24,9 MPa

Sampel 13 = 24,6 MPa

Sampel 14 = 24,2 MPa

Sampel 15 = 23,8 MPa

Data tersebut menunjukkan kecenderungan hasil kuat tekan yang semakin menurun. Kondisi seperti ini perlu mendapat perhatian meskipun seluruh titik belum tentu berada di luar batas kendali. Dalam SQC, pola data juga penting untuk diperhatikan karena pola tertentu dapat menunjukkan adanya penyebab khusus atau perubahan proses. Penurunan kuat tekan secara berturut-turut dapat menjadi indikasi adanya masalah pada proses produksi beton.

Investigasi Penyebab (Choi et al., 2020; Ford et al., 2023)

Tim QC kemudian melakukan investigasi terhadap beberapa faktor yang dapat memengaruhi mutu beton. Faktor yang diperiksa antara lain:

1. Mutu semen yang digunakan.
2. Gradasi agregat kasar dan agregat halus.
3. Kadar air agregat.
4. Ketepatan penimbangan material.
5. Water-cement ratio.
6. Kondisi batching plant.
7. Waktu pengangkutan beton dari batching plant ke lokasi proyek.
8. Proses pengecoran.
9. Proses pemadatan beton.
10. Proses curing.
11. Kondisi benda uji.
12. Prosedur pengujian laboratorium.

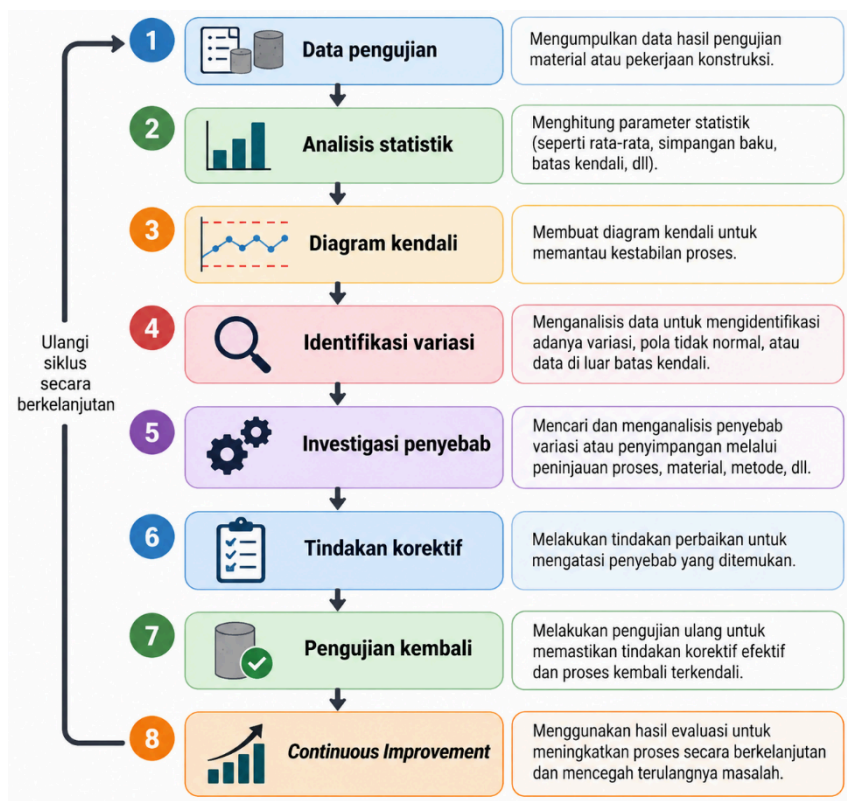
Misalnya, hasil investigasi menunjukkan bahwa kadar air agregat meningkat setelah terjadi hujan. Namun, koreksi kadar air tidak dilakukan pada saat *batching*. Akibatnya, jumlah air aktual dalam campuran beton menjadi lebih besar. Kondisi tersebut menyebabkan *water-cement ratio* meningkat dan pada akhirnya dapat menyebabkan penurunan kuat tekan beton.

Tindakan Korektif (Love et al., 2020; Ekwunatum et al., 2022)

Berdasarkan hasil investigasi, tindakan korektif dapat dilakukan dengan beberapa cara.

1. Pertama, melakukan pengukuran kadar air agregat sebelum proses batching.
2. Kedua, melakukan koreksi jumlah air pencampur berdasarkan kadar air agregat aktual.
3. Ketiga, memeriksa dan memastikan kalibrasi alat penimbangan material.
4. Keempat, meningkatkan pengawasan terhadap proses batching.
5. Kelima, melakukan pemeriksaan slump beton secara berkala.
6. Keenam, memastikan proses pengecoran dan pemadatan dilakukan sesuai prosedur.
7. Ketujuh, memastikan proses curing dilaksanakan sesuai metode yang telah ditetapkan.
8. Kedelapan, melakukan pengujian kembali terhadap beton yang diproduksi setelah tindakan korektif diterapkan.
9. Integrasi SQC dengan *continuous improvement*

Penerapan SQC dalam proyek konstruksi tidak berhenti pada pembuatan diagram kendali. Data hasil pengujian harus digunakan sebagai dasar untuk melakukan perbaikan proses secara berkelanjutan. Alur penerapannya dapat digambarkan sebagai berikut: (Ford & Gosling, 2024; Bueno Esposito & Bosché, 2024)



Gambar 10.1 Ilustrasi Penerapan SQC Pada Dunia Konstruksi

Dengan alur tersebut, SQC dapat berfungsi sebagai sistem peringatan dini terhadap kemungkinan terjadinya masalah mutu.

Kesimpulan (Montgomery, 2019; Love et al., 2020; Ford & Gosling, 2024)

Kasus pembangunan gedung sekolah menunjukkan bahwa *Statistical Quality Control* (SQC) dapat digunakan untuk mengendalikan mutu pekerjaan konstruksi secara sistematis dan berbasis data. Pada contoh pengujian kuat tekan beton, nilai rata-rata sebesar 25,73 MPa menunjukkan bahwa secara rata-rata hasil pengujian berada di atas mutu beton rencana sebesar 25 MPa. Nilai simpangan baku sebesar 0,61 MPa menunjukkan tingkat variasi hasil pengujian. Berdasarkan pendekatan 3-sigma diperoleh UCL sebesar 27,56 MPa dan LCL sebesar 23,90 MPa. Seluruh data awal berada di dalam batas kendali sehingga proses dapat dianggap terkendali secara statistik berdasarkan contoh sederhana tersebut.

Namun, SQC tidak hanya digunakan untuk mengetahui apakah suatu data berada di dalam atau di luar batas kendali. Pola dan kecenderungan data juga harus diperhatikan. Penurunan hasil kuat tekan secara berturut-turut dapat menjadi indikasi adanya perubahan proses yang harus segera diinvestigasi. Dalam proyek konstruksi, SQC sebaiknya diintegrasikan dengan *Quality Assurance* (QA), *Quality Control* (QC), *Inspection and Test Plan* (ITP), diagram Pareto, diagram sebab-akibat, analisis *Process Capability*, serta *Corrective and Preventive Action* (CAPA).

Dengan penerapan tersebut, SQC dapat membantu tim proyek mengidentifikasi masalah lebih awal, mengurangi variasi proses, mengurangi pekerjaan ulang, meningkatkan konsistensi mutu, dan mendukung *continuous improvement* dalam pelaksanaan proyek konstruksi.

BAB 11 AUDIT MUTU

11.1 Pendahuluan

Audit mutu merupakan salah satu elemen paling penting dalam Sistem Manajemen Mutu (SMM). Audit bukan sekadar kegiatan pemeriksaan, tetapi merupakan proses sistematis untuk memastikan bahwa seluruh proses organisasi berjalan sesuai persyaratan, mencapai sasaran mutu, serta menghasilkan perbaikan berkelanjutan (continual improvement) (Wawak et al., 2020; Egwunatum et al., 2022; Willar et al., 2016).

Dalam ISO 9001:2026, audit internal tetap menjadi persyaratan utama pada Klausul 9 (Performance Evaluation). Edisi 2026 memperkuat peran audit sebagai alat pembelajaran organisasi dengan memberikan penekanan lebih besar pada budaya mutu (quality culture), kepemimpinan, tindakan terhadap peluang, serta keselarasan antara audit dan strategi organisasi. (International Organization for Standardization [ISO], 2026a).

Pada proyek teknik sipil, audit mutu memiliki peranan vital karena kualitas pekerjaan secara langsung mempengaruhi keamanan struktur, umur layanan bangunan, efisiensi biaya, dan kepatuhan terhadap regulasi. Contoh penerapan audit pada proyek konstruksi meliputi: (Gurmu & Mahmood, 2024; Yarnold et al., 2023; Rauzana & Usni, 2020).

1. Audit mutu pekerjaan pondasi.
2. Audit pemasangan tulangan.
3. Audit pengecoran beton.
4. Audit laboratorium material.
5. Audit dokumentasi proyek.
6. Audit kalibrasi alat ukur.

Audit yang dilakukan secara konsisten akan mengurangi kemungkinan terjadinya pekerjaan ulang (rework), klaim, kegagalan konstruksi, maupun ketidaksesuaian terhadap spesifikasi teknis (Eze & Idiake, 2018; Love et al., 2019; Juliana et al., 2024).

11.2 Pengertian Audit Mutu

Menurut ISO 9000, audit adalah proses sistematis, independen, dan terdokumentasi untuk memperoleh bukti objektif dan mengevaluasinya secara objektif guna menentukan sejauh mana kriteria audit telah dipenuhi. Terdapat empat unsur utama dalam definisi tersebut (ISO, 2026b).

1. Sistematis. Audit mengikuti prosedur yang telah direncanakan.
2. Independen. Auditor tidak boleh mengaudit pekerjaannya sendiri.
3. Terdokumentasi. Seluruh proses memiliki bukti.
4. Objektif. Penilaian didasarkan pada fakta, bukan opini.

Audit berbeda dengan inspeksi.

Tabel 11.1 Perbedaan Audit Dengan Inspeksi

Aspek	Audit	Inspeksi
Tujuan	Menilai sistem	Memeriksa hasil pekerjaan
Frekuensi	Berkala	Harian
Fokus	Proses	Produk
Bukti	Dokumen dan observasi	Kondisi fisik

11.3 Tujuan Audit Mutu

Audit mutu memiliki berbagai tujuan strategis (Wawak et al., 2020; Willar & Pangemanan, 2020).

1. Memastikan kesesuaian terhadap ISO 9001:2026.
2. Memastikan kepatuhan terhadap prosedur internal.
3. Mengidentifikasi ketidaksesuaian.
4. Menemukan peluang peningkatan.
5. Menilai efektivitas tindakan korektif.
6. Mendukung pengambilan keputusan manajemen.
7. Memperkuat budaya mutu organisasi.

Dalam konteks konstruksi, audit membantu memastikan bahwa pekerjaan telah memenuhi gambar kerja, spesifikasi teknis, standar nasional (SNI), serta persyaratan kontrak (Yarnold et al., 2023; Gurmu & Mahmood, 2024).

11.4 Prinsip Audit Berdasarkan ISO 19011

Walaupun ISO 9001 mensyaratkan audit internal, pedoman pelaksanaan audit dijelaskan secara rinci dalam ISO 19011:2026, yang tetap menjadi acuan utama untuk teknik audit. Tujuh prinsip audit meliputi: (ISO, 2026a; ISO, 2026c).

1. Integritas.
2. Penyajian yang adil.
3. Kehati-hatian profesional.
4. Kerahasiaan.
5. Independensi.
6. Pendekatan berbasis bukti.
7. Pendekatan berbasis risiko.

Pada ISO 9001:2026, pendekatan berbasis risiko semakin dipertegas dengan pemisahan yang lebih jelas antara risiko dan peluang sehingga auditor tidak hanya mencari masalah, tetapi juga mengidentifikasi kesempatan peningkatan. (ISO, 2026a).

11.5 Audit Mutu Pada Proyek Konstruksi

Audit mutu pada sektor konstruksi merupakan proses pemeriksaan yang sistematis, objektif, dan terdokumentasi untuk menilai sejauh mana pelaksanaan pekerjaan konstruksi telah memenuhi persyaratan mutu yang ditetapkan. Persyaratan tersebut dapat berasal dari kontrak, spesifikasi teknis, gambar kerja, standar nasional, prosedur pelaksanaan, peraturan yang berlaku, maupun persyaratan yang ditetapkan oleh pemilik proyek. Audit mutu tidak hanya berfungsi untuk menemukan kesalahan, tetapi juga untuk memastikan bahwa sistem pengendalian mutu berjalan secara efektif dan mampu mencegah terjadinya ketidaksesuaian (Wawak et al., 2020; Yarnold et al., 2023).

Dalam proyek konstruksi, audit mutu memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan dengan audit pada sektor manufaktur karena kegiatan konstruksi berlangsung di lokasi proyek, melibatkan banyak pihak, dan menghasilkan produk yang bersifat unik. Pemilik proyek, konsultan perencanaan, konsultan pengawas, kontraktor, subkontraktor, pemasok, dan laboratorium pengujian memiliki tanggung jawab yang saling berkaitan. Oleh karena itu, audit mutu perlu dilakukan terhadap proses maupun hasil pekerjaan. Pemeriksaan dapat mencakup pengadaan material, penerimaan material

di lokasi, penyimpanan, pelaksanaan pekerjaan, pemeriksaan dimensi, pengujian material, dokumentasi, hingga proses serah terima pekerjaan (Yarnold et al., 2023; Wawak et al., 2020).

Secara umum, audit mutu konstruksi bertujuan untuk memperoleh bukti objektif mengenai kesesuaian antara pelaksanaan pekerjaan dengan persyaratan yang telah ditentukan. Auditor melakukan pemeriksaan melalui peninjauan dokumen, wawancara dengan personel proyek, observasi langsung di lapangan, pemeriksaan material, serta verifikasi terhadap hasil pengujian. Sebagai contoh, pada pekerjaan struktur beton, auditor dapat memeriksa apakah material yang digunakan telah memenuhi spesifikasi, apakah prosedur pencampuran dan pengecoran telah dilaksanakan sesuai metode kerja, apakah pengujian *slump* dilakukan sesuai ketentuan, serta apakah benda uji beton telah dibuat dan diuji sesuai prosedur.

Tahapan audit mutu umumnya dimulai dengan perencanaan audit. Pada tahap ini ditentukan tujuan, ruang lingkup, kriteria, jadwal, lokasi, serta personel yang terlibat dalam audit. Auditor juga mempelajari dokumen yang relevan, seperti kontrak, spesifikasi teknis, gambar kerja, method statement, Inspection And Test Plan (ITP), prosedur mutu, laporan pengujian, dan laporan pekerjaan. Perencanaan yang baik diperlukan agar kegiatan audit memiliki fokus yang jelas dan dapat menghasilkan temuan yang relevan terhadap kinerja proyek (ISO, 2026c).

Tahap berikutnya adalah pelaksanaan audit. Auditor mengumpulkan bukti objektif melalui pemeriksaan dokumen dan kondisi aktual di lapangan. Misalnya, apabila dokumen proyek menyatakan bahwa mutu beton yang digunakan adalah $f_c' 25 \text{ MPa}$, auditor tidak cukup hanya memeriksa dokumen pengadaan beton. Auditor perlu memeriksa sertifikat material, hasil *slump* test, hasil pengujian kuat tekan, identitas benda uji, serta kesesuaian lokasi dan tanggal pengecoran. Dengan demikian, audit dapat memberikan gambaran apakah sistem pengendalian mutu benar-benar diterapkan atau hanya tersedia secara administratif (ISO, 2026c; Weerasuriya et al., 2025).

Hasil pemeriksaan kemudian dibandingkan dengan kriteria audit. Apabila ditemukan ketidaksesuaian, auditor harus mendokumentasikan temuan secara jelas berdasarkan bukti objektif. Ketidaksesuaian dapat berupa ketidaksesuaian material, metode pelaksanaan, hasil pengujian, dokumentasi, maupun prosedur kerja. Sebagai contoh, ditemukan bahwa tulangan yang dipasang memiliki diameter yang tidak sesuai dengan gambar kerja. Temuan tersebut harus didukung oleh bukti berupa hasil pengukuran, referensi gambar kerja, lokasi pekerjaan, tanggal pemeriksaan, dan pihak yang bertanggung jawab terhadap pekerjaan tersebut.

Dalam pengelolaan mutu konstruksi, temuan audit dapat dikategorikan berdasarkan tingkat keparahannya. Ketidaksesuaian yang berdampak langsung terhadap keamanan struktur atau fungsi bangunan perlu mendapatkan perhatian lebih tinggi dibandingkan dengan ketidaksesuaian administratif. Misalnya, kesalahan diameter tulangan utama kolom merupakan temuan yang memiliki konsekuensi teknis lebih serius dibandingkan dengan keterlambatan pengisian formulir pemeriksaan. Namun demikian, ketidaksesuaian administratif tetap penting karena dokumentasi merupakan bagian dari sistem manajemen mutu dan menjadi bukti bahwa proses pengendalian telah dilaksanakan (Gurmu & Mahmood, 2024).

Setelah temuan diperoleh, pihak yang diaudit perlu melakukan analisis akar penyebab atau *root cause analysis*. Tujuannya bukan sekadar mencari pihak yang

melakukan kesalahan, tetapi memahami mengapa ketidaksesuaian terjadi. Analisis dapat menggunakan metode seperti 5 Why, diagram sebab-akibat atau fishbone diagram, serta analisis proses. Sebagai contoh, apabila hasil pengujian beton tidak memenuhi kuat tekan yang dipersyaratkan, penyebabnya dapat berasal dari proporsi campuran, kualitas material, proses pencampuran, waktu transportasi, metode pengecoran, proses pemadatan, atau proses curing. Dengan memahami akar penyebab, tindakan perbaikan dapat diarahkan pada sumber masalah (Shooshtarian et al., 2024).

Tahap selanjutnya adalah tindakan korektif. Tindakan korektif harus dirancang berdasarkan akar penyebab dan harus dapat diverifikasi efektivitasnya. Misalnya, apabila ketidaksesuaian terjadi karena pekerja tidak memahami prosedur pengecoran, tindakan korektif dapat berupa pelatihan ulang, revisi instruksi kerja, peningkatan pengawasan, dan pemeriksaan tambahan. Apabila masalah disebabkan oleh material yang tidak memenuhi spesifikasi, tindakan dapat berupa penghentian penggunaan material, penggantian material, serta peningkatan pemeriksaan pada saat penerimaan material.

Audit mutu juga berperan penting dalam penerapan konsep continuous improvement. Data hasil audit dapat digunakan untuk mengidentifikasi pola ketidaksesuaian yang berulang. Apabila suatu jenis pekerjaan berulang kali menghasilkan temuan yang sama, hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat kelemahan sistemik yang perlu diperbaiki. Dengan demikian, audit tidak seharusnya dipandang sebagai kegiatan mencari kesalahan, tetapi sebagai instrumen untuk meningkatkan efektivitas sistem manajemen mutu proyek (Love et al., 2019; Egwunatum et al., 2022).

Dalam praktik konstruksi, audit mutu dapat dilakukan secara internal maupun eksternal. Audit internal dilakukan oleh organisasi atau tim yang berada dalam lingkungan perusahaan untuk mengevaluasi penerapan sistem mutu proyek. Sementara itu, audit eksternal dapat dilakukan oleh pemilik proyek, konsultan, lembaga sertifikasi, atau pihak independen lainnya. Kedua jenis audit tersebut memiliki fungsi yang berbeda, tetapi pada dasarnya sama-sama bertujuan memperoleh bukti mengenai tingkat kesesuaian dan efektivitas pengendalian mutu (ISO, 2026c; Weerasuriya et al., 2025).

Audit mutu yang efektif harus memenuhi prinsip independensi, objektivitas, berbasis bukti, dan pendekatan berbasis risiko. Auditor harus menghindari konflik kepentingan dan tidak memanipulasi temuan untuk kepentingan pihak tertentu. Setiap kesimpulan harus didasarkan pada bukti yang dapat diverifikasi. Selain itu, perhatian audit sebaiknya diprioritaskan pada pekerjaan yang memiliki risiko mutu tinggi, seperti pekerjaan pondasi, struktur beton bertulang, struktur baja, pekerjaan jalan, pekerjaan tanah, dan pekerjaan yang berpengaruh langsung terhadap keselamatan serta umur layanan konstruksi (ISO, 2026c; Willar & Pangemanan, 2020).

Dengan demikian, audit mutu merupakan salah satu instrumen penting dalam memastikan keberhasilan proyek konstruksi. Audit tidak berhenti pada kegiatan pemeriksaan dan pencatatan temuan, tetapi merupakan bagian dari siklus peningkatan mutu yang meliputi perencanaan, pelaksanaan, pemeriksaan, tindakan korektif, dan evaluasi efektivitas. Apabila dilaksanakan secara konsisten, audit mutu dapat membantu mengurangi rework, mencegah pemborosan material, meningkatkan kepatuhan terhadap spesifikasi teknis, memperkuat dokumentasi proyek, serta meningkatkan keandalan dan kinerja akhir konstruksi (Wawak et al., 2020; Juliana et al., 2024).



Gambar 11.1 Infografis Audit Mutu di Sektor Konstruksi

11.6 Contoh Audit Mutu pada Proyek Pembangunan Gedung

11.6.1 Identitas Audit

Nama proyek: Pembangunan Gedung Fakultas Teknik

Lokasi: Banjarmasin, Kalimantan Selatan

Pemilik proyek: Universitas

Kontraktor: PT. XYZ Konstruksi

Konsultan pengawas: PT. ABC Konsultan

Jenis bangunan: Gedung pendidikan 4 lantai

Waktu pelaksanaan: 18 bulan

Jenis audit: Audit mutu internal proyek

Tanggal audit: 7 Oktober 2026

Tim auditor: Tim Penjaminan Mutu Proyek

Ruang lingkup: Material, pekerjaan struktur, pekerjaan arsitektur, dokumentasi mutu, dan pengujian

11.6.2 Tujuan Audit

Audit mutu dilakukan untuk mengetahui apakah pelaksanaan pembangunan gedung telah sesuai dengan persyaratan kontrak, gambar kerja, spesifikasi teknis, prosedur pelaksanaan, serta standar yang digunakan dalam proyek. Secara khusus, audit bertujuan untuk:

1. Memeriksa kesesuaian material yang digunakan dengan spesifikasi teknis.
2. Memeriksa kesesuaian metode pelaksanaan dengan prosedur yang telah disetujui.
3. Memeriksa pelaksanaan pemeriksaan dan pengujian pekerjaan.
4. Mengidentifikasi ketidaksesuaian yang dapat memengaruhi mutu bangunan.
5. Memastikan tindakan korektif terhadap temuan sebelumnya telah dilaksanakan.
6. Mendorong peningkatan berkelanjutan dalam pengelolaan mutu proyek.

11.6.3 Ruang Lingkup Audit

Audit dilakukan terhadap beberapa pekerjaan utama, yaitu:

1. pekerjaan tanah dan pondasi;
2. pekerjaan beton bertulang;
3. pekerjaan struktur baja;
4. pekerjaan pemasangan dinding;
5. pekerjaan lantai;
6. pekerjaan atap;
7. pekerjaan instalasi;
8. pemeriksaan material;
9. pengujian laboratorium;
10. dokumen pemeriksaan dan pengujian;
11. prosedur kerja;
12. dokumentasi hasil pekerjaan.

11.6.4 Dokumen yang Diperiksa

Sebelum melakukan pemeriksaan lapangan, auditor memeriksa beberapa dokumen, antara lain:

1. Dokumen kontrak.
2. Gambar kerja yang telah disetujui.
3. Spesifikasi teknis.
4. *Method statement*.
5. *Inspection and Test Plan* (ITP).
6. Prosedur pemeriksaan material.
7. Sertifikat material.
8. Hasil pengujian beton.
9. Hasil pemeriksaan tulangan.
10. Laporan harian proyek.
11. Laporan mingguan dan bulanan.
12. Formulir pemeriksaan pekerjaan.
13. Laporan ketidaksesuaian.
14. Dokumentasi foto pekerjaan.
15. Berita acara pemeriksaan.

11.6.5 Pelaksanaan Audit Lapangan

Auditor melakukan pemeriksaan langsung terhadap kondisi pekerjaan di lapangan. Pemeriksaan dilakukan melalui pengamatan visual, pengukuran, wawancara dengan pelaksana, pemeriksaan dokumen, serta pencocokan antara kondisi aktual dengan gambar dan spesifikasi teknis.

Sebagai contoh, auditor memilih secara acak beberapa kolom lantai dua untuk diperiksa. Pemeriksaan meliputi diameter tulangan, jumlah tulangan, jarak antar tulangan, panjang penyaluran, posisi tulangan, dimensi kolom, kondisi bekisting, serta kebersihan area pengecoran.

Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa sebagian besar kolom telah dilaksanakan sesuai gambar kerja. Namun, ditemukan satu kolom yang memiliki jarak sengkang lebih besar daripada jarak yang dipersyaratkan pada gambar kerja. Gambar kerja menetapkan jarak sengkang sebesar 100 mm pada daerah tertentu, sedangkan hasil pengukuran lapangan menunjukkan jarak sebesar 150 mm.

Kondisi tersebut dicatat sebagai temuan audit karena terdapat perbedaan antara kondisi aktual dan persyaratan teknis.

11.6.7 Analisis Salah Satu Temuan

Temuan:

Jarak sengkang kolom tidak sesuai dengan gambar kerja.

Persyaratan:

Jarak sengkang pada daerah yang diperiksa adalah 100 mm.

Kondisi aktual:

Hasil pengukuran menunjukkan jarak sengkang sebesar 150 mm.

Bukti objektif:

1. hasil pengukuran lapangan;
2. foto kondisi tulangan;
3. gambar kerja;
4. formulir pemeriksaan tulangan;
5. wawancara dengan pelaksana pekerjaan.

Jarak sengkang yang lebih besar dari persyaratan dapat memengaruhi kemampuan elemen dalam menahan gaya geser dan menjaga kekangan tulangan longitudinal. Apabila tidak segera dikoreksi, kondisi tersebut dapat memengaruhi kinerja struktur.

11.6.8 Analisis Akar Penyebab

Untuk mengetahui penyebab ketidaksesuaian, auditor melakukan analisis menggunakan metode *5 Why*.

Masalah:

Jarak sengkang kolom lebih besar daripada persyaratan.

Mengapa pertama?

Karena pemasangan sengkang dilakukan dengan jarak 150 mm.

Mengapa kedua?

Karena pekerja menggunakan ukuran jarak yang tidak sesuai dengan gambar kerja terbaru.

Mengapa ketiga?

Karena gambar kerja terbaru belum tersedia di lokasi pekerjaan.

Mengapa keempat?

Karena distribusi revisi gambar kepada tim pelaksana belum berjalan dengan baik.

Mengapa kelima?

Karena sistem pengendalian dokumen proyek belum diterapkan secara konsisten.

Dari analisis tersebut dapat diketahui bahwa akar masalah bukan semata-mata kesalahan pekerja, tetapi kelemahan dalam pengendalian dokumen proyek (Shooshtarian et al., 2024; Willar & Pangemanan, 2020).

11.6.9 Tindakan Korektif

Tindakan korektif yang direkomendasikan adalah:

1. Menghentikan sementara pekerjaan pada elemen yang belum memenuhi persyaratan.
2. Melakukan pemeriksaan terhadap seluruh kolom yang dikerjakan dengan gambar yang sama.
3. Memperbaiki pemasangan tulangan sesuai gambar kerja yang berlaku.
4. Memastikan gambar revisi terbaru tersedia di lokasi pekerjaan.
5. Menarik gambar lama yang sudah tidak berlaku.
6. Memberikan pengarahan kepada pelaksana dan pekerja.
7. Meningkatkan pemeriksaan sebelum pekerjaan pengecoran.
8. Memperbaiki sistem distribusi dan pengendalian dokumen.
9. Mendokumentasikan hasil tindakan korektif.
10. Melakukan pemeriksaan ulang sebelum pekerjaan dilanjutkan.

BAB 12 CONTINUOUS IMPROVEMENT

12.1 Pendahuluan

Continuous Improvement (Perbaikan Berkelanjutan) merupakan salah satu fondasi utama Sistem Manajemen Mutu (*Quality Management System/QMS*). Dalam ISO 9001:2026, konsep ini tidak lagi dipandang sebagai aktivitas korektif semata, tetapi sebagai mekanisme strategis yang menghubungkan kepemimpinan, budaya mutu, pengambilan keputusan berbasis bukti, pengelolaan risiko dan peluang, serta penciptaan nilai jangka panjang bagi pelanggan dan pemangku kepentingan. (International Organization for Standardization [ISO], 2026).

Perbaikan berkelanjutan memungkinkan organisasi untuk meningkatkan efektivitas proses secara sistematis melalui siklus pembelajaran yang berulang. Dalam industri konstruksi, misalnya, *continuous improvement* dapat diwujudkan melalui peningkatan produktivitas proyek, penurunan angka cacat pekerjaan (*defect*), pengurangan pemborosan material, peningkatan keselamatan kerja, hingga peningkatan kepuasan pengguna bangunan. (Babalola et al., 2019; Wawak et al., 2020).

12.2 Konsep Continuous Improvement menurut ISO 9001:2026

ISO 9001:2026 mempertahankan struktur *Harmonized Structure* yang digunakan pada standar sistem manajemen lainnya. Klausul 10 tetap membahas Improvement, namun edisi 2026 memberikan penekanan lebih kuat terhadap: (ISO, 2026).

1. budaya mutu (*quality culture*);
2. kepemimpinan yang mendorong perbaikan;
3. pemisahan yang lebih jelas antara pengelolaan risiko dan peluang;
4. pengambilan keputusan berbasis data;
5. pembelajaran organisasi.

Tujuan utama *continuous improvement* meliputi:

1. meningkatkan kepuasan pelanggan;
2. meningkatkan efisiensi proses;
3. mengurangi variasi proses;
4. mengurangi pemborosan;
5. meningkatkan daya saing organisasi;
6. meningkatkan kemampuan adaptasi terhadap perubahan.

12.3 Prinsip Perbaikan Berkelanjutan

Continuous improvement didasarkan pada beberapa prinsip manajemen mutu yang saling berkaitan. Perbaikan harus menghasilkan nilai yang dirasakan pelanggan. Contoh: (Aquilani et al., 2017; Wawak et al., 2020).

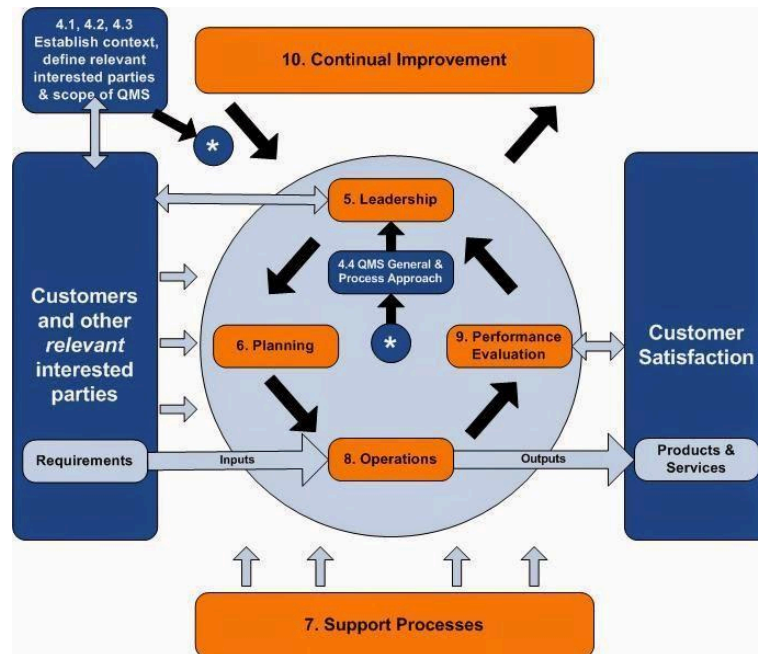
1. mempercepat waktu penyelesaian proyek;
2. meningkatkan kualitas finishing;
3. mengurangi keluhan pengguna.

Manajemen puncak harus menciptakan budaya yang mendorong setiap orang berpartisipasi dalam perbaikan. ISO 9001:2026 menegaskan bahwa kualitas merupakan tanggung jawab seluruh organisasi, bukan hanya unit mutu. (ISO, 2026; Coelho et al., 2022; Alawag et al., 2023).

Setiap karyawan memiliki kesempatan memberikan ide perbaikan. Contoh:

1. usulan efisiensi pekerjaan;
2. inovasi metode konstruksi;
3. penyederhanaan prosedur.

Setiap proses harus dipahami sebagai bagian dari sistem yang saling terhubung. (Aquilani et al., 2017).



Gambar 12.1 Prinsip Perbaikan Berkelanjutan

12.4 Continuous Improvement Pada Sektor Konstruksi

Continuous improvement atau perbaikan berkelanjutan merupakan pendekatan sistematis yang bertujuan meningkatkan kinerja proses, mutu pekerjaan, efisiensi biaya, keselamatan, produktivitas, dan kepuasan pemangku kepentingan secara terus-menerus. Dalam sektor konstruksi, *continuous improvement* menjadi penting karena setiap proyek memiliki karakteristik yang berbeda, melibatkan banyak pihak, menggunakan berbagai jenis material dan peralatan, serta menghadapi ketidakpastian seperti perubahan desain, kondisi lapangan, keterlambatan material, cuaca, keterbatasan tenaga kerja, dan perubahan persyaratan teknis. (Babalola et al., 2019; Wawak et al., 2020).

Penerapan *continuous improvement* tidak berarti bahwa seluruh proses konstruksi harus selalu diubah. Perbaikan dilakukan berdasarkan hasil pengukuran, temuan lapangan, data mutu, evaluasi kinerja, hasil inspeksi, laporan ketidaksesuaian, maupun masukan dari pekerja dan pemangku kepentingan. Dengan demikian, keputusan perbaikan harus didasarkan pada bukti dan data, bukan semata-mata pada persepsi atau pengalaman individu. (Wawak et al., 2020; Ji & AbouRizk, 2018).

Dalam manajemen mutu konstruksi, *continuous improvement* memiliki hubungan yang sangat erat dengan *quality assurance* dan *quality control*. *Quality assurance* berorientasi pada pencegahan masalah melalui sistem, prosedur, standar, dan proses kerja yang terencana. Sementara itu, *quality control* berorientasi pada pemeriksaan dan pengujian untuk memastikan bahwa hasil pekerjaan memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Hasil dari kedua aktivitas tersebut kemudian menjadi masukan untuk menentukan tindakan perbaikan. (ISO, 2026; Love et al., 2024).

Salah satu pendekatan yang banyak digunakan adalah siklus *Plan–Do–Check–Act* atau PDCA. Pada tahap *Plan*, tim proyek mengidentifikasi masalah, menganalisis penyebab, menentukan sasaran perbaikan, dan menyusun tindakan yang diperlukan. Pada tahap *Do*, tindakan perbaikan diterapkan secara terkontrol. Tahap *Check* dilakukan dengan mengevaluasi hasil melalui pengukuran dan perbandingan terhadap target atau kriteria penerimaan. Selanjutnya, pada tahap *Act*, hasil yang terbukti efektif distandarkan dan diterapkan sebagai prosedur kerja baru. Jika hasil belum memenuhi sasaran, proses kembali ke tahap perencanaan untuk dilakukan evaluasi lebih lanjut. (ISO, 2026; Wawak et al., 2020).

Dalam proyek konstruksi, penerapan *continuous improvement* dapat dimulai dari identifikasi ketidaksesuaian. Sebagai contoh, hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa pekerjaan pengecoran sering mengalami *honeycomb*. Tim kemudian mengumpulkan data mengenai lokasi kejadian, mutu beton, metode pengecoran, kepadatan tulangan, penggunaan vibrator, kompetensi tenaga kerja, dan waktu pengecoran. Analisis dapat dilakukan menggunakan *Seven Quality Tools*, seperti lembar pemeriksaan, diagram Pareto, diagram sebab-akibat, histogram, diagram pencar, dan diagram kendali. (Wawak et al., 2020; Ji & AbouRizk, 2018).

Hasil analisis kemudian digunakan untuk menentukan akar penyebab masalah. Apabila ditemukan bahwa *honeycomb* terutama disebabkan oleh metode pemadatan yang tidak konsisten, tindakan perbaikan dapat berupa penyempurnaan prosedur pengecoran, pelatihan operator, penetapan durasi pemadatan, pemeriksaan kesiapan peralatan, dan peningkatan pengawasan lapangan. Setelah diterapkan, hasil pekerjaan diperiksa kembali. Apabila tingkat ketidaksesuaian menurun secara signifikan, metode tersebut dapat ditetapkan sebagai standar kerja. (Wawak et al., 2020; Love et al., 2024).

Continuous improvement juga dapat diterapkan pada pengelolaan material. Data mengenai keterlambatan material, tingkat penolakan material, kesesuaian sertifikat, hasil pengujian laboratorium, dan waktu pengadaan dapat dianalisis untuk menemukan peluang perbaikan. Misalnya, apabila material baja tulangan sering terlambat sehingga mengganggu pekerjaan struktur, tim proyek dapat mengevaluasi sistem pemesanan, jadwal pengiriman, kapasitas pemasok, pemeriksaan material, serta sistem penyimpanan. Perbaikan dapat dilakukan melalui perencanaan kebutuhan material yang lebih akurat dan peningkatan koordinasi dengan pemasok. (Babalola et al., 2019; Alawag et al., 2023).

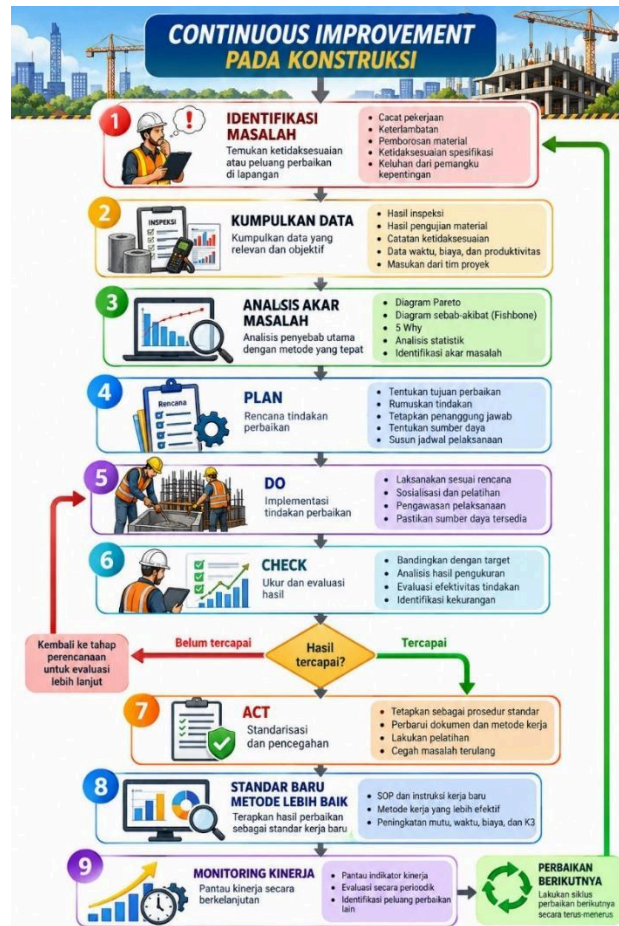
Pada aspek keselamatan konstruksi, *continuous improvement* dilakukan melalui evaluasi kecelakaan, *near miss*, kondisi tidak aman, perilaku tidak aman, dan hasil inspeksi keselamatan. Setiap kejadian harus dipandang sebagai sumber pembelajaran. Tujuannya bukan sekadar mencari pihak yang bersalah, tetapi memahami kelemahan sistem yang memungkinkan kejadian tersebut terjadi. Pendekatan ini dapat membantu organisasi membangun budaya keselamatan yang lebih kuat. (Duryan et al., 2020).

Aspek produktivitas juga menjadi sasaran penting. Produktivitas pekerjaan dapat dievaluasi berdasarkan volume pekerjaan yang dihasilkan dibandingkan dengan waktu, tenaga kerja, dan sumber daya yang digunakan. Jika produktivitas pekerjaan pemasangan bata, pembesian, bekisting, atau pengecoran lebih rendah daripada target, tim dapat melakukan analisis terhadap metode kerja, tata letak material, mobilisasi tenaga kerja, penggunaan alat, waktu tunggu, serta koordinasi antarpekerjaan. (Tetik et al., 2019; Babalola et al., 2019).

Penerapan *continuous improvement* yang efektif memerlukan dokumentasi. Setiap masalah, tindakan korektif, hasil evaluasi, dan keputusan standardisasi sebaiknya dicatat. Dokumentasi tersebut menjadi *lessons learned* yang dapat digunakan pada pekerjaan berikutnya. Dengan demikian, pengalaman dari satu proyek tidak hilang ketika proyek selesai, tetapi menjadi pengetahuan organisasi yang dapat meningkatkan kinerja proyek selanjutnya. (Eken et al., 2020; Duryan et al., 2020).

Dalam konteks konstruksi modern, *continuous improvement* juga dapat didukung oleh teknologi digital. Data inspeksi, hasil pengujian material, produktivitas tenaga kerja, progres pekerjaan, dan ketidaksesuaian dapat dikumpulkan melalui sistem digital. Data tersebut kemudian dianalisis untuk menemukan pola dan kecenderungan. Penggunaan *Building Information Modeling* (BIM), aplikasi inspeksi digital, sensor, *dashboard* kinerja, dan analisis data dapat mempercepat proses identifikasi masalah serta pengambilan keputusan. (Luo et al., 2022; Tetik et al., 2019; Aksak & Sakin, 2026).

Dengan demikian, *continuous improvement* bukan merupakan aktivitas yang dilakukan hanya ketika terjadi masalah. Pendekatan ini merupakan budaya organisasi yang mendorong seluruh pihak dalam proyek untuk selalu mencari cara yang lebih baik dalam melaksanakan pekerjaan. Keberhasilan penerapannya dapat dilihat dari meningkatnya mutu pekerjaan, menurunnya ketidaksesuaian, berkurangnya pekerjaan ulang, meningkatnya produktivitas, berkurangnya kecelakaan, pengendalian biaya yang lebih baik, serta meningkatnya kepuasan pemilik proyek. (Coelho et al., 2022; Love et al., 2024).



Gambar 12.2 *Continuous Improvement* Pada Sektor Konstruksi

12.5 Integrasi *Continuous Improvement* dengan Manajemen Mutu Konstruksi

Penerapan *continuous improvement* pada sektor konstruksi pada dasarnya bertumpu pada tujuh prinsip utama: (ISO, 2026; Omotayo et al., 2018; Coelho et al., 2022).

1. Berbasis data — keputusan perbaikan didasarkan pada hasil pengukuran dan bukti objektif. (Ji & AbouRizk, 2018; Wawak et al., 2020).
2. Berorientasi pada akar masalah — tindakan diarahkan pada penyebab, bukan hanya memperbaiki gejala. (Wawak et al., 2020; Love et al., 2024).
3. Dilakukan secara sistematis — menggunakan siklus PDCA dan metode analisis yang terstruktur. (ISO, 2026; Omotayo et al., 2018).
4. Melibatkan seluruh personel — mulai dari manajemen proyek, konsultan, pelaksana, pengawas, hingga pekerja lapangan. (Omotayo et al., 2018; Coelho et al., 2022).
5. Berorientasi pada pencegahan — mengurangi kemungkinan masalah yang sama terjadi kembali. (Love et al., 2024; Wawak et al., 2020).
6. Didokumentasikan — hasil perbaikan menjadi pengetahuan dan pembelajaran organisasi. (Eken et al., 2020; Duryan et al., 2020).
7. Distandarkan — metode yang terbukti efektif dimasukkan ke dalam prosedur dan standar kerja. (Eken et al., 2020; Tetik et al., 2019).



Gambar 12.3 Tujuh Prinsip *Continuous Improvement* Pada Sektor Konstruksi

Pada akhirnya, *continuous improvement* menjadikan proyek konstruksi sebagai sistem pembelajaran. Setiap inspeksi, pengujian, ketidaksesuaian, kecelakaan, keterlambatan, dan keberhasilan bukan hanya menjadi catatan proyek, tetapi menjadi sumber informasi untuk memperbaiki proses berikutnya. Oleh karena itu, *continuous improvement* merupakan salah satu fondasi penting untuk membangun sistem manajemen mutu konstruksi yang konsisten, adaptif, efisien, dan berorientasi pada peningkatan kinerja jangka panjang. (Eken et al., 2020; Wawak et al., 2020).

BAB 13 LEAN CONSTRUCTION

13.1 Pendahuluan

Industri konstruksi merupakan salah satu sektor dengan tingkat kompleksitas tertinggi karena melibatkan berbagai pemangku kepentingan, proses yang panjang, penggunaan sumber daya dalam jumlah besar, serta tingkat ketidakpastian yang tinggi. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pemborosan (*waste*), keterlambatan proyek, pekerjaan ulang (*rework*), serta variasi kualitas masih menjadi penyebab utama rendahnya produktivitas proyek konstruksi (Sacks et al., 2020; Koskela, 2020). (Babalola et al., 2019; Albalkhy & Sweis, 2021) (Babalola et al., 2019; Bajjou & Chafi, 2020; Garcés et al., 2025) (Maraqa et al., 2020)

Perkembangan sistem manajemen mutu modern menunjukkan bahwa peningkatan kualitas tidak lagi hanya bergantung pada inspeksi akhir, tetapi harus dibangun melalui pengelolaan proses secara menyeluruh. Dalam konteks tersebut, pendekatan yang paling banyak digunakan secara global adalah *Lean Construction*.

Lean Construction berfokus pada penciptaan nilai bagi pelanggan dengan menghilangkan aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah (*non-value-added activities*). Dalam ISO 9001:2026, pendekatan proses (*process approach*), budaya mutu, kepemimpinan, pengelolaan risiko dan peluang, serta perbaikan berkelanjutan menjadi

landasan utama yang sangat selaras dengan implementasi *Lean Construction* (Koskela, 2020; Garcés et al., 2025)

13.2 Konsep Dasar Lean Construction

Lean Construction merupakan adaptasi filosofi *Lean Manufacturing* yang dikembangkan Toyota ke dalam industri konstruksi. Pendekatan ini dikembangkan oleh *International Group for Lean Construction* (IGLC) dengan tujuan meningkatkan nilai bagi pelanggan sambil mengurangi pemborosan. (Koskela, 2020; Babalola et al., 2019)

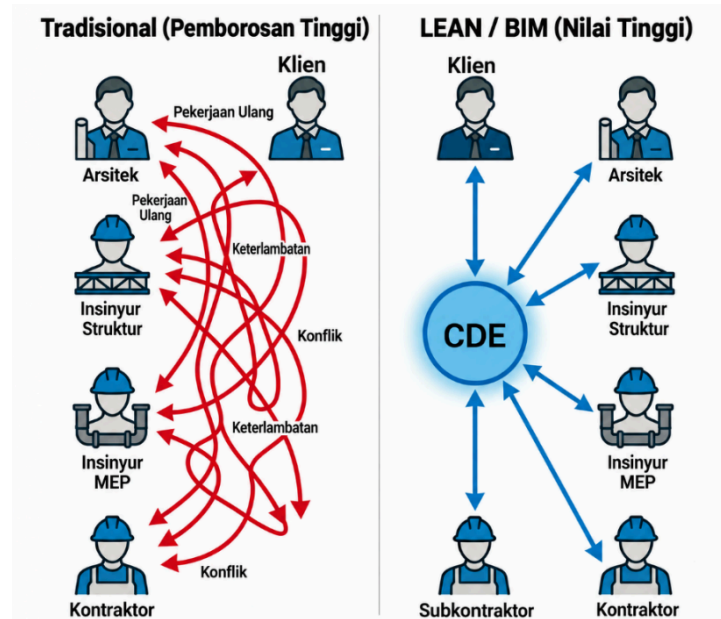
Lean Construction adalah sistem manajemen proyek yang bertujuan: (Koskela, 2020; Garcés et al., 2025)

1. meningkatkan nilai pelanggan,
2. mengurangi pemborosan,
3. memperbaiki aliran pekerjaan,
4. meningkatkan kolaborasi antar pihak proyek.

Berbeda dengan pendekatan tradisional yang berfokus pada efisiensi setiap aktivitas secara individual, *Lean* memandang proyek sebagai suatu sistem yang saling terhubung.



Gambar 13.1 Pengertian *Lean Construction*



Gambar 13.2 Perbedaan Konsep *Lean Construction* Dengan Tradisional

Tabel 13.1 Perbedaan Konsep *Lean Construction* Dengan Tradisional

Aspek	Tradisional	Lean
Fokus	Aktivitas	Aliran proses
Tujuan	Menyelesaikan pekerjaan	Menciptakan nilai
Pengendalian	Reaktif	Proaktif
Komunikasi	Bertingkat	Kolaboratif
Perbaikan	Setelah masalah muncul	Berkelanjutan

Terdapat lima prinsip utama *Lean Construction*. (Koskela, 2020; Garcés et al., 2025)

1. Menentukan nilai pelanggan.
2. Mengidentifikasi value stream.
3. Menciptakan aliran kerja yang lancar.
4. Menggunakan sistem pull.
5. Mengejar kesempurnaan (continuous improvement).

Kelima prinsip tersebut sejalan dengan filosofi continual improvement pada ISO 9001:2026.

13.3 Konsep Nilai (Value) dalam Konstruksi

Dalam *Lean Construction*, nilai (*value*) adalah manfaat yang benar-benar diinginkan pelanggan dibandingkan biaya yang dikeluarkan. (Koskela, 2020; Garcés et al., 2025) (Francis & Thomas, 2020)

Nilai tidak hanya berupa:

1. kualitas struktur,
2. ketepatan waktu,
3. biaya.

Tetapi juga meliputi:

1. keselamatan kerja,
2. keberlanjutan,

3. kemudahan pemeliharaan,
 4. kepuasan pengguna.
- Efisiensi nilai dapat dinyatakan secara sederhana sebagai:

$$\text{Value} = \frac{\text{Manfaat}}{\text{Biaya}}$$

Semakin besar manfaat dengan biaya yang sama, semakin tinggi nilai proyek.

13.4 *Value Stream Dalam Konstruksi*

Value stream merupakan seluruh rangkaian aktivitas sejak perencanaan hingga proyek diserahkan kepada pemilik. Tahapan tersebut meliputi: (Babalola et al., 2019; Garcés et al., 2025)

1. Perencanaan
2. Desain
3. Pengadaan
4. Pelaksanaan
5. Pengujian
6. Serah Terima

Dalam praktik *Lean Construction*, setiap tahapan dianalisis untuk mengidentifikasi aktivitas yang:

1. memberikan nilai tambah,
2. tidak memberikan nilai tambah tetapi masih diperlukan,
3. benar-benar merupakan pemborosan.

13.5 Jenis-Jenis *Waste Dalam Lean Construction*

Dalam manajemen konstruksi, *waste* merupakan segala bentuk aktivitas, penggunaan sumber daya, atau proses yang tidak memberikan nilai tambah terhadap produk akhir proyek. *Waste* tidak selalu berbentuk material yang terbuang secara fisik, tetapi juga dapat berupa waktu yang hilang, pekerjaan yang harus diulang, pergerakan pekerja yang tidak perlu, penggunaan alat yang tidak efisien, persediaan material yang berlebihan, hingga kesalahan dalam perencanaan dan komunikasi. (Bajjou & Chafi, 2020; Rosli et al., 2023)

Konsep *waste* sangat penting dalam penerapan *Lean Construction* karena setiap aktivitas dalam proyek pada dasarnya dapat dikelompokkan menjadi aktivitas yang memberikan nilai tambah, aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah tetapi diperlukan, dan aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah serta seharusnya dihilangkan.

Secara umum, jenis *waste* dalam konstruksi dapat dijelaskan melalui delapan kategori utama, yaitu *defects*, *overproduction*, *waiting*, *non-utilized talent*, *transportation*, *inventory*, *motion*, dan *extra-processing*. Kedelapan jenis tersebut sering dikenal sebagai konsep DOWNTIME. (Bajjou & Chafi, 2020; Setiono et al., 2023)



Gambar 13.1 Alur *Waste*

13.5.1 Defects Atau Cacat Pekerjaan

Defects adalah kesalahan atau ketidaksesuaian hasil pekerjaan terhadap persyaratan yang telah ditetapkan. Dalam proyek konstruksi, *defect* dapat berupa pekerjaan beton yang mengalami *honeycomb*, dimensi kolom tidak sesuai gambar, pemasangan tulangan yang salah, permukaan dinding tidak rata, kebocoran atap, pekerjaan pasangan bata yang tidak tegak, atau hasil pekerjaan yang tidak memenuhi spesifikasi teknis. (Bajjou & Chafi, 2020; Setiono et al., 2023)

Defect menyebabkan *waste* karena pekerjaan yang telah dilakukan harus diperbaiki atau bahkan dibongkar dan dikerjakan kembali. Kondisi ini meningkatkan penggunaan material, tenaga kerja, waktu, biaya, dan energi. Contohnya pekerjaan pengecoran kolom dilakukan tanpa pemeriksaan posisi tulangan dan bekisting secara memadai. Setelah beton mengeras ditemukan bahwa dimensi kolom tidak sesuai dengan gambar kerja. Kolom kemudian harus dibongkar dan dicor kembali.

13.5.2 Overproduction Atau Produksi Berlebihan

Overproduction terjadi ketika pekerjaan atau produk konstruksi dibuat lebih banyak, lebih cepat, atau lebih awal daripada yang sebenarnya dibutuhkan. Contohnya adalah memproduksi elemen beton pracetak dalam jumlah terlalu banyak sebelum mengetahui kebutuhan aktual di lapangan. Contoh lainnya adalah pemotongan material dalam jumlah besar sebelum ukuran aktual pekerjaan diverifikasi. (Bajjou & Chafi, 2020)

Produksi berlebihan dapat menyebabkan penumpukan material, kebutuhan ruang penyimpanan, kerusakan material, dan risiko penggunaan material yang sebenarnya tidak diperlukan. Contoh sederhana:

Kebutuhan paving block untuk pekerjaan minggu ini = 500 buah.

Paving block yang diproduksi = 1.000 buah.

Kelebihan = 500 buah.

Jika material tersebut tidak segera digunakan, maka diperlukan tempat penyimpanan dan terdapat risiko kerusakan atau kehilangan.

13.5.3 *Waiting* Atau Waktu Menunggu

Waiting adalah waktu yang terbuang karena pekerja, material, alat, atau pekerjaan berikutnya harus menunggu sesuatu sebelum dapat melanjutkan pekerjaan. Dalam proyek konstruksi, *waiting* merupakan salah satu sumber kehilangan produktivitas yang sering terjadi. Penyebabnya dapat berupa keterlambatan material, alat rusak, gambar kerja belum tersedia, keputusan dari manajemen belum diberikan, tenaga kerja belum tersedia, hasil pemeriksaan belum keluar, atau pekerjaan sebelumnya belum selesai. Contoh pekerja sudah berada di lokasi untuk melakukan pengecoran, tetapi beton *ready mix* terlambat datang selama dua jam. (Bajjou & Chafi, 2020; Rosli et al., 2023)

Selama dua jam tersebut tenaga kerja dan peralatan mungkin tetap berada di lokasi, tetapi tidak menghasilkan pekerjaan yang memberikan nilai tambah.

13.5.4 *Non-Utilized Talent* Atau Potensi Tenaga Kerja Yang Tidak Dimanfaatkan

Non-utilized talent adalah pemborosan yang terjadi ketika kemampuan, pengetahuan, pengalaman, dan kreativitas tenaga kerja tidak dimanfaatkan secara optimal. Dalam proyek konstruksi, tenaga kerja sebenarnya memiliki pengalaman praktis yang sangat berharga. Namun, apabila komunikasi hanya berjalan satu arah dan pekerja tidak diberikan kesempatan untuk menyampaikan masalah atau memberikan usulan perbaikan, maka potensi tersebut tidak dimanfaatkan. (Rosli et al., 2023)

Contohnya, seorang mandor memiliki pengalaman mengenai metode pemasangan bekisting yang lebih cepat dan aman. Namun, tidak ada mekanisme bagi mandor tersebut untuk menyampaikan usulannya kepada manajemen proyek. Akibatnya, proyek tetap menggunakan metode lama yang membutuhkan waktu lebih panjang.

13.5.5 *Transportation* Atau Transportasi Yang Tidak Perlu

Transportation adalah pemborosan yang terjadi akibat perpindahan material, alat, atau komponen konstruksi yang tidak diperlukan atau dilakukan terlalu sering. Perpindahan material tidak selalu menghasilkan nilai tambah. Material yang hanya dipindahkan dari satu lokasi ke lokasi lain tanpa mengubah bentuk atau fungsi produk merupakan aktivitas yang perlu dikendalikan. (Bajjou & Chafi, 2020; Rosli et al., 2023)

Contohnya, material semen ditempatkan jauh dari lokasi pekerjaan. Akibatnya pekerja harus memindahkan semen menggunakan gerobak beberapa kali dalam sehari. Contoh lain adalah material baja yang dipindahkan dari gudang ke area fabrikasi, kemudian dikembalikan ke gudang, dan selanjutnya dipindahkan lagi ke lokasi pemasangan. Semakin panjang dan semakin sering jalur perpindahan material, semakin besar potensi *waste*.

13.5.6 *Inventory* Atau Persediaan Berlebihan

Inventory merupakan pemborosan akibat penyimpanan material, alat, atau komponen dalam jumlah lebih besar daripada kebutuhan aktual pada suatu periode pekerjaan. Persediaan sebenarnya diperlukan dalam proyek konstruksi. Namun, persediaan yang terlalu banyak dapat menjadi *waste* karena membutuhkan ruang penyimpanan, biaya

pengelolaan, dan meningkatkan risiko kerusakan, kehilangan, serta penurunan kualitas material. (Babalola et al., 2019; Bajjou & Chafi, 2020)

Contohnya adalah pembelian semen dalam jumlah sangat besar tanpa mempertimbangkan kapasitas penyimpanan. Semen yang disimpan terlalu lama atau terkena kelembapan dapat mengalami penurunan kualitas. Contoh lainnya adalah penyimpanan besi tulangan terlalu lama di area terbuka sehingga mengalami korosi.

13.5.7 Motion Atau Gerakan Yang Tidak Perlu

Motion merupakan gerakan pekerja atau peralatan yang tidak memberikan nilai tambah terhadap pekerjaan. *Motion* berbeda dengan *transportation*. *Transportation* lebih berkaitan dengan perpindahan material atau barang, sedangkan *motion* lebih berkaitan dengan gerakan manusia atau alat kerja. (Bajjou & Chafi, 2020)

Contohnya adalah pekerja harus berjalan berkali-kali untuk mengambil alat karena lokasi penyimpanan alat terlalu jauh dari area kerja. Contoh lain adalah pekerja harus membungkuk berulang kali karena material ditempatkan langsung di lantai tanpa mempertimbangkan posisi kerja yang ergonomis. Gerakan berulang tersebut dapat mengurangi produktivitas pekerja.

13.5.8 Extra-Processing Atau Proses Berlebihan

Extra-processing adalah aktivitas tambahan yang sebenarnya tidak diperlukan untuk menghasilkan produk sesuai persyaratan. Pemborosan ini dapat terjadi karena prosedur yang terlalu panjang, pemeriksaan yang berulang tanpa alasan yang jelas, pengolahan data secara berulang, pekerjaan administratif yang tidak memberikan manfaat, atau pekerjaan konstruksi yang dilakukan melebihi persyaratan teknis. (Bajjou & Chafi, 2020; Setiono et al., 2023)

Contohnya adalah melakukan pekerjaan finishing sebanyak tiga kali, padahal spesifikasi hanya mensyaratkan satu tahap pemeriksaan dan satu tahap perbaikan. Contoh lainnya adalah pengisian data proyek yang sama secara berulang pada beberapa formulir yang berbeda karena sistem dokumentasi tidak terintegrasi.

13.5.9 Waste Material

Selain delapan kategori utama tersebut, dalam praktik konstruksi terdapat *waste material* yang sangat mudah diamati secara langsung. *Waste material* adalah material yang terbuang, rusak, tersisa, atau tidak dapat digunakan sesuai tujuan awal. Contohnya antara lain:

1. Sisa pemotongan baja tulangan.
2. Pecahan bata atau bata yang rusak.
3. Beton yang tersisa setelah pengecoran.
4. Keramik yang rusak akibat pemotongan atau penyimpanan.
5. Kayu bekisting yang tidak dapat digunakan kembali.
6. Semen yang menggumpal akibat penyimpanan yang buruk.
7. Pipa yang terpotong terlalu pendek.
8. Material yang rusak akibat penanganan yang tidak tepat.

13.5.10 Information Waste Atau Pemborosan Informasi

Dalam konstruksi modern, informasi merupakan salah satu sumber daya penting. Kesalahan atau keterlambatan informasi dapat menyebabkan pemborosan yang besar. *Information waste* terjadi ketika informasi tidak tersedia pada saat dibutuhkan, informasi tidak akurat, terjadi duplikasi informasi, atau informasi tidak disampaikan kepada pihak yang tepat. (Albalkhy & Sweis, 2021; Agrawal et al., 2024)

Contohnya adalah gambar kerja terbaru belum diterima oleh pelaksana lapangan sehingga pekerjaan dilakukan berdasarkan gambar lama.

13.6 Hubungan Antarjenis Waste

Dalam proyek konstruksi, satu jenis *waste* dapat memicu munculnya jenis *waste* lainnya. Sebagai contoh, keterlambatan material (*waiting*) dapat menyebabkan pekerja tidak produktif. Setelah material datang, proyek kemudian mengejar keterlambatan dengan melakukan pekerjaan secara terburu-buru. Kondisi tersebut dapat meningkatkan risiko kesalahan (*defect*). Pekerjaan yang cacat kemudian harus diperbaiki sehingga membutuhkan material tambahan (*inventory*) dan waktu tambahan (*waiting*). (Bajjou & Chafi, 2020; Rosli et al., 2023)



Gambar 13.2 Contoh Hubungan Antar *Waste*

13.7 Cara Mengurangi Waste Dalam Konstruksi

Pengurangan *waste* harus dilakukan secara sistematis, bukan hanya dengan mengurangi penggunaan material. Pendekatan yang efektif dimulai dengan mengidentifikasi aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah, mencari akar

penyebabnya, melakukan tindakan perbaikan, kemudian mengevaluasi hasilnya. (Babalola et al., 2019; Garcés et al., 2025) (Francis & Thomas, 2020)

Alur pengurangan *waste* dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 13.3 Cara Mengurangi *Waste* Dalam Konstruksi

Dengan demikian, *waste* dalam konstruksi tidak hanya berarti material yang terbuang. *Waste* mencakup seluruh sumber daya yang digunakan tetapi tidak menghasilkan nilai tambah bagi proyek. Pemahaman terhadap *defects*, *overproduction*, *waiting*, *non-utilized talent*, *transportation*, *inventory*, *motion*, dan *extra-processing* menjadi dasar penting dalam penerapan *Lean Construction*. Semakin dini *waste* diidentifikasi, semakin besar peluang proyek untuk meningkatkan produktivitas, menurunkan biaya, memperpendek durasi pelaksanaan, meningkatkan mutu, dan meningkatkan keselamatan kerja.

13.8 Contoh Penerapan *Lean Construction* Pada Proyek Konstruksi Jembatan

Penerapan *Lean Construction* pada proyek konstruksi jembatan bertujuan untuk mengurangi pemborosan atau *waste*, meningkatkan produktivitas, memperlancar aliran pekerjaan, mengurangi pekerjaan ulang, mengendalikan biaya, serta memastikan proyek dapat diselesaikan sesuai mutu, biaya, dan waktu yang direncanakan. (Babalola et al., 2019; Garcés et al., 2025)

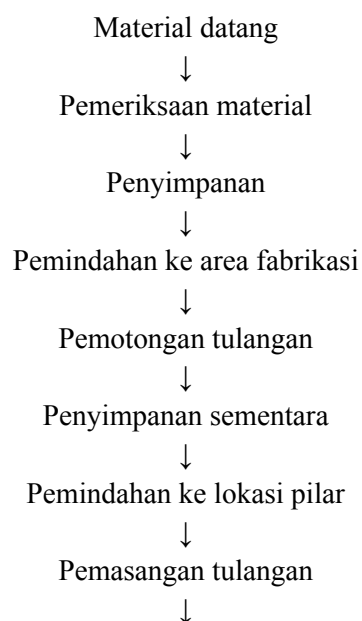
Sebagai contoh, digunakan simulasi proyek pembangunan jembatan beton dengan panjang 120 meter yang terdiri atas tiga bentang. Pekerjaan meliputi pekerjaan pondasi, pilar, kepala jembatan, struktur atas, dan pekerjaan pelengkap. Pada kondisi awal ditemukan beberapa masalah, antara lain keterlambatan material, pekerja menunggu alat berat, material dipindahkan berkali-kali, penumpukan material, pekerjaan beton mengalami cacat, serta terdapat pekerjaan yang harus dilakukan kembali.

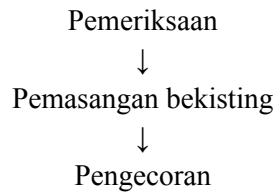
Langkah pertama adalah mengidentifikasi aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah dalam proses pembangunan jembatan. Langkah berikutnya adalah identifikasi *waste*. Tim proyek mengidentifikasi jenis *waste* yang terjadi selama pelaksanaan pekerjaan. *Waste* yang ditemukan antara lain:

1. *Waiting*. Pekerja menunggu material, alat berat, beton ready mix, gambar kerja, atau penyelesaian pekerjaan sebelumnya.
2. *Transportation*. Material dipindahkan terlalu sering dari gudang ke area fabrikasi, kemudian ke area penyimpanan sementara, dan akhirnya ke lokasi pemasangan.
3. *Motion*. Pekerja harus berjalan terlalu jauh untuk mengambil alat atau material yang dibutuhkan.
4. *Inventory*. Material didatangkan terlalu banyak sehingga terjadi penumpukan di lokasi proyek.
5. *Defects*. Hasil pekerjaan tidak memenuhi persyaratan mutu, misalnya beton keropos, dimensi tidak sesuai, atau posisi tulangan tidak tepat.
6. *Rework*. Pekerjaan harus diperbaiki atau dibongkar dan dikerjakan kembali.
7. *Overproduction*. Material atau komponen dibuat lebih banyak atau lebih awal daripada kebutuhan aktual.
8. *Extra-processing*. Terdapat proses pemeriksaan, dokumentasi, atau pekerjaan tambahan yang sebenarnya tidak diperlukan.

Tim proyek kemudian melakukan pemetaan aliran pekerjaan untuk mengetahui aktivitas yang memberikan nilai tambah dan aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah.

Contoh aliran pekerjaan awal:



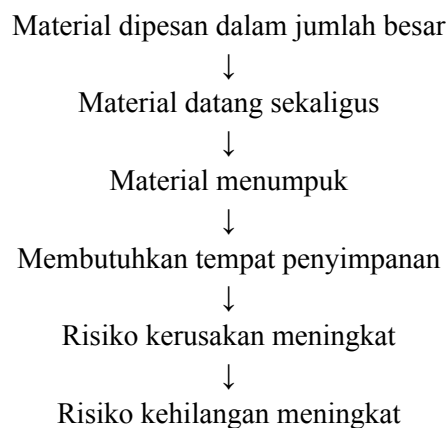


Dari aliran tersebut terlihat bahwa material mengalami beberapa kali perpindahan dan penyimpanan. Setelah dilakukan perbaikan:

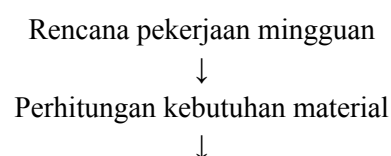


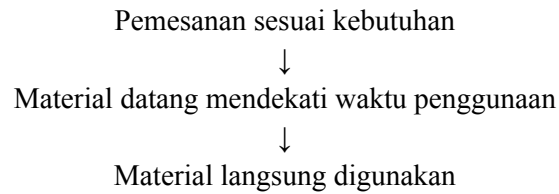
Dengan cara tersebut, jumlah perpindahan dan penyimpanan sementara dapat dikurangi. Untuk mengurangi persediaan material yang berlebihan, proyek menerapkan prinsip *Just in Time*. (Babalola et al., 2019)

Sebelum perbaikan:



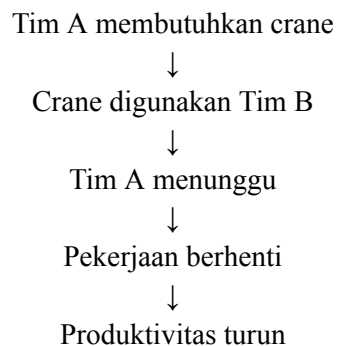
Setelah perbaikan:



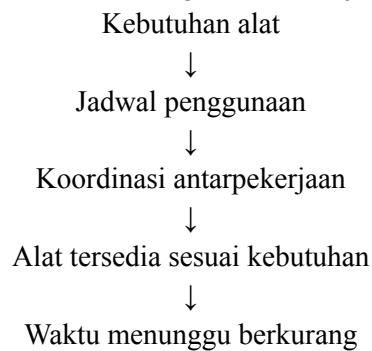


Sebagai contoh, apabila kebutuhan baja tulangan untuk pekerjaan satu pilar adalah 12 ton, maka pengadaan dapat disesuaikan dengan kebutuhan pekerjaan yang telah siap dilaksanakan. Dengan demikian, tidak seluruh kebutuhan proyek harus didatangkan sekaligus.

Pada proyek jembatan, alat seperti *crane*, *excavator*, *concrete pump*, dan *vibrator* sering digunakan oleh beberapa kelompok pekerjaan. Jika penggunaan alat tidak direncanakan dengan baik, dapat terjadi:



Penerapan Lean Construction dilakukan dengan membuat jadwal penggunaan alat.



Tata letak lokasi proyek juga diperbaiki untuk mengurangi perpindahan material. Contoh tata letak yang lebih efisien:



↓
Lokasi pemasangan

Area fabrikasi tulangan ditempatkan sedekat mungkin dengan jalur menuju pilar dan kepala jembatan. Tujuannya adalah mengurangi jarak pemindahan, waktu pengangkutan, penggunaan alat angkut, serta risiko kerusakan material.

Jika terjadi keterlambatan atau masalah, dilakukan analisis menggunakan metode 5 *why*. (Setiono et al., 2023)

Contoh:

Mengapa pengecoran terlambat?

Karena beton terlambat datang.

Mengapa beton terlambat datang?

Karena pemesanan dilakukan terlambat.

Mengapa pemesanan terlambat?

Karena jadwal pengecoran berubah.

Mengapa jadwal pengecoran berubah?

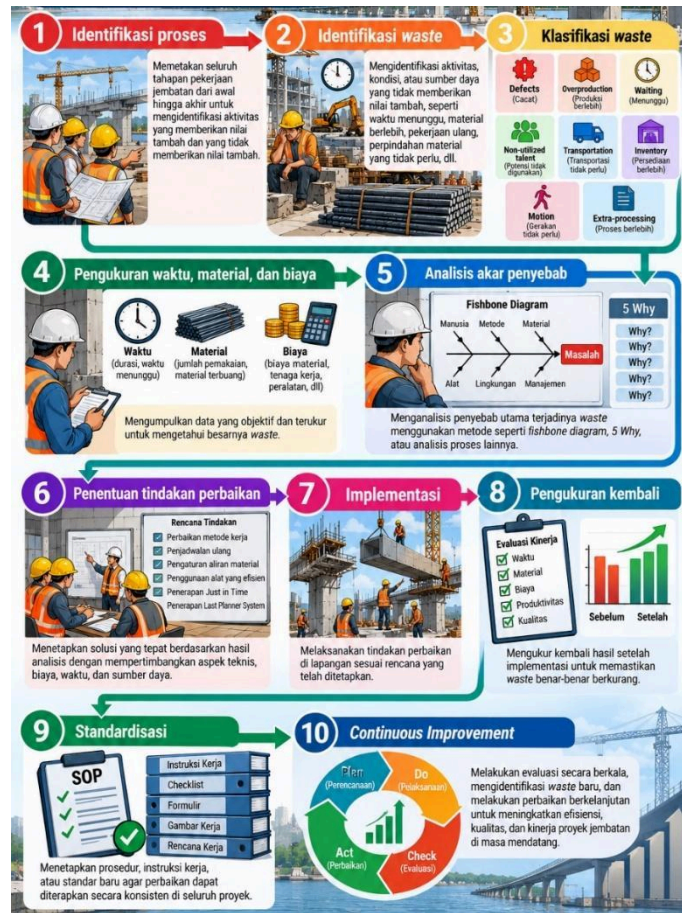
Karena bekisting belum selesai.

Mengapa bekisting belum selesai?

Karena material dan tenaga kerja tidak tersedia sesuai rencana.

Dari analisis tersebut dapat diketahui bahwa masalah sebenarnya bukan hanya keterlambatan beton. Akar masalahnya adalah ketidaksiapan proses pekerjaan sebelumnya.

Secara keseluruhan, penerapan *Lean Construction* pada proyek jembatan dapat digambarkan sebagai berikut:



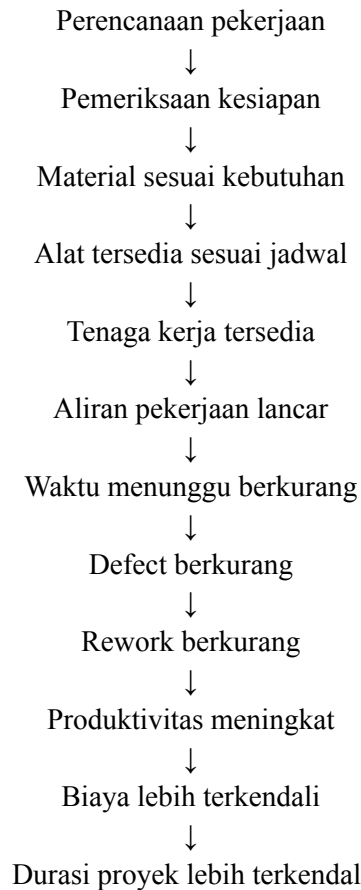
Gambar 13.4 Penerapan *Lean Construction* Pada Proyek Jembatan

Perbandingan kondisi sebelum dan setelah penerapan Lean Construction
Kondisi sebelum penerapan:

Material terlambat
↓
Pekerja menunggu
↓
Produktivitas menurun
↓
Pekerjaan tertunda
↓
Pekerjaan dikejar
↓
Risiko defect meningkat
↓
Rework
↓
Material tambahan
↓
Biaya meningkat

↓
Durasi proyek bertambah

Kondisi setelah penerapan:



Penerapan *Lean Construction* pada proyek konstruksi jembatan dilakukan dengan mengidentifikasi dan mengurangi aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah. Penerapannya dapat dilakukan melalui pengendalian *waste*, pemetaan aliran pekerjaan, penerapan *Just in Time*, pengaturan tata letak proyek, pengendalian mutu, koordinasi penggunaan alat, analisis akar penyebab, serta pengukuran kinerja secara berkala. (Babalola et al., 2019; Agrawal et al., 2024; Garcés et al., 2025)

Tujuan akhirnya bukan hanya mempercepat pekerjaan, tetapi menciptakan aliran pekerjaan yang lebih stabil, mengurangi penggunaan sumber daya yang tidak perlu, meningkatkan mutu, mengurangi pekerjaan ulang, mengendalikan biaya, dan meningkatkan keandalan jadwal proyek. Prinsip tersebut kemudian menjadi dasar untuk melakukan *Continuous Improvement* secara berkelanjutan pada seluruh tahapan pembangunan jembatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, A. K., Zou, Y., Chen, L., Abdelmegid, M. A., & González, V. A. (2024). Moving toward lean construction through automation of planning and control in last planner system: A systematic literature review. *Developments in the Built Environment*, 18, 100419. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100419>
- Ahiaga-Dagbui, D. D., Love, P. E. D., & Smith, J. (2020). Managing construction quality through early-stage project interventions. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- Aksak, C., & Sakin, M. (2026). A closed-loop digital QA/QC framework for mega construction projects: Integrating BIM, reality capture, AI and enterprise systems. *Buildings*, 16(15), 3092. <https://doi.org/10.3390/buildings16153092>
- Alawag, A. M., Alaloul, W. S., Liew, M. S., Musarat, M. A., Baarimah, A. O., Saad, S., & Ammad, S. (2023). Critical success factors influencing total quality management in industrialised building system: A case of Malaysian construction industry. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(2), Article 101877. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101877>
- Albalkhy, W., & Sweis, R. (2021). Barriers to adopting lean construction in the

- construction industry: A literature review. *International Journal of Lean Six Sigma*, 12(2), 210–236. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2018-0144>
- Alia, K., Mubin, S., & Gavrishyk, E. (2022). Evaluating quality management system of construction projects. *International Journal of Performability Engineering*, 18(7), 492–501. <https://www.ijpe-online.com/EN/10.23940/ijpe.22.07.p4.492501>
- Alves, T. da C. L., Neuman, Y., Walsh, K. D., Needy, K. L., & AlMaian, R. (2020). Highly effective companies in supplier quality surveillance practices: A quantitative analysis. *Construction Management and Economics*, 38(3), 239–258. <https://doi.org/10.1080/01446193.2019.1590613>
- American Society for Quality. (2022). What is quality management? <https://asq.org/quality-resources/quality-management>
- Andhika, R., & Latief, Y. (2020). Conceptual framework of development of quality culture in Indonesian construction company. *Evergreen*, 7(1), 144–149. <https://doi.org/10.5109/2740971>
- Annisa, A., Arifin, Y. F., & Ma'ruf, M. A. (2024). Bearing capacity and soil settlement analysis based on cone penetration test (CPT). *CERUCUK*, 8(4). <https://ppjp.ulm.ac.id/journals/index.php/crc/article/view/13404>
- Antony, J., McDermott, O., Sony, M., Fernandes, M. M., & Ribeiro, R. V. C. (2021). A study on the Ishikawa's original basic tools of quality control in South American companies: Results from a pilot survey and directions for further research. *The TQM Journal*, 33(8), 1770–1786. <https://doi.org/10.1108/TQM-01-2021-0004>
- Aquilani, B., Silvestri, C., Ruggieri, A., & Gatti, C. (2017). A systematic literature review on total quality management critical success factors and the identification of new avenues of research. *The TQM Journal*, 29(1), 184–213. <https://doi.org/10.1108/TQM-01-2016-0003>
- Araya-Santelices, P., Moraga, P., Atencio, E., Lozano-Galant, F., & Lozano-Galant, J. A. (2025). BIM-GIS-based approach for quality management aligned with ISO 9001. *Applied Sciences*, 15(11), 6107. <https://doi.org/10.3390/app15116107>
- Babalola, O., Ibem, E. O., & Ezema, I. C. (2019). Implementation of lean practices in the construction industry: A systematic review. *Building and Environment*, 148, 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.051>
- Bajjou, M. S., & Chafi, A. (2020). Identifying and managing critical waste factors for lean construction projects. *Engineering Management Journal*, 32(1), 2–13. <https://doi.org/10.1080/10429247.2019.1656479>
- Balouchi, M., Gholhaki, M., & Niousha, A. (2019). Reworks causes and related costs in construction: Case of Parand mass housing project in Iran. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 36(8), 1392–1408. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-06-2018-0155>
- Barsalou, M. (2023). Determining which of the classic seven quality tools are in the quality practitioner's RCA tool kit. *Cogent Engineering*, 10(1), 2199516. <https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2199516>
- Brooks, T., Gunning, J. G., Spillane, J. P., & Cole, J. (2021). Regulatory decoupling and the effectiveness of the ISO 9001 quality management system in the construction sector in the UK: A case study analysis. *Construction Management and Economics*, 39(12), 988–1005. <https://doi.org/10.1080/01446193.2021.1983186>
- Bueno Esposito, M., & Bosch , F. (2024). Pre-processing and analysis of building

- information models for automated geometric quality control. *Automation in Construction*, 165, 105557. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105557>
- Choi, C. H., & Lee, J. (2022). A BIM-based quality inspection system prototype for temporary construction works. *Buildings*, 12(11), Article 1931. <https://doi.org/10.3390/buildings12111931>
- Choi, H., Venkiteela, G., Gregori, A., & Najm, H. (2020). Advanced quality control models for concrete admixtures. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(2), 04019349. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003024](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003024)
- Cholis, N. A., Eswan, & Mahendra, W. (2026). Evaluation of 30 MPa concrete strength using inferential statistics and control charts. *Journal of Applied Sciences, Management and Engineering Technology*, 7(1), 58–66. <https://doi.org/10.31284/j.jasmet.2026.v7i1.8306>
- Choudhry, R. M., Khan, S. M., & Ahmed, W. (2021). Project management performance of construction projects in Jordan: A comparative study of ISO 9001-certified and non-certified companies. *The TQM Journal*, 34(5), 1341–1364.
- Coelho, C., Mojtahedi, M., Kabirifar, K., & Yazdani, M. (2022). Influence of organisational culture on total quality management implementation in the Australian construction industry. *Buildings*, 12(4), 496. <https://doi.org/10.3390/buildings12040496>
- Dehbandi, R., Shirpourasl, Z., & Asnaashari, E. (2026). Digital transformation of construction quality management: Systematic review of adoption and governance. *Automation in Construction*, 191, 107166. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2026.107166>
- del Solar Serrano, P., del Río Merino, M., & Villoria Sáez, P. (2020). Methodology for continuous improvement projects in housing constructions. *Buildings*, 10(11), Article 199. <https://doi.org/10.3390/buildings10110199>
- Dias, A. M., Carvalho, A. M., & Sampaio, P. (2022). Quality 4.0: Literature review analysis, definition and impacts of the digital transformation process on quality. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 39(6), 1312–1335. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2021-0247>.
- Direktorat Jenderal Bina Konstruksi. (2026). Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Konstruksi Nomor 47/SE/Dk/2026 tentang Tata Cara Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum. Kementerian Pekerjaan Umum. https://binakonstruksi.pu.go.id/sdm_tags/ahsp/
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2025). Spesifikasi umum 2025 untuk pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan (Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 07/SE/Db/2025). Kementerian Pekerjaan Umum. <https://binamarga.pu.go.id/index.php/nspk/detail/spesifikasi-umum-2025-untuk-pekerjaan-konstruksi-jalan-dan-jembatan>
- Duryan, M., Smyth, H., Roberts, A., Rowlinson, S., & Sherratt, F. (2020). Knowledge transfer for occupational health and safety: Cultivating health and safety learning culture in construction firms. *Accident Analysis & Prevention*, 139, 105496. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105496>
- Egwunatum, S. I., Anumudu, A. C., Eze, E. C., & Awodele, I. A. (2022). Total quality management (TQM) implementation in the Nigerian construction industry. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 29(1), 354–382.

<https://doi.org/10.1108/ECAM-08-2020-0639>

- Eken, G., Bilgin, G., Dikmen, I., & Birgonul, M. T. (2020). A lessons-learned tool for organizational learning in construction. *Automation in Construction*, 110, 102977. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102977>
- Eze, E. C., & Idiake, J. E. (2018). Impact of rework on building project and organisation performance: A view of construction professionals in Nigeria. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 9(1), 29–43. <https://journal.uthm.edu.my/index.php/IJSCET/article/view/1773>
- Forcada, N., Gangoilells, M., Casals, M., & Macarulla, M. (2017). Assessment of construction defects in residential buildings in Spain. *Building Research & Information*, 45(6), 629–640. <https://doi.org/10.1080/09613218.2016.1177013>
- Ford, G., & Gosling, J. (2024). Professional perceptions of right-first-time and quality management in construction projects through open-ended feedback. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 41(10), 2665–2696. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-08-2023-0246>
- Ford, G., Gosling, J., & Naim, M. (2023). On quality and complexity: Non-conformance failures, management perspectives and learning outcomes on a highways megaproject. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 40(10), 2539–2558. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-11-2022-0313>
- Francis, A., & Thomas, A. (2020). Exploring the relationship between lean construction and environmental sustainability: A review of existing literature to decipher broader dimensions. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119913. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119913>
- Garcés, G., Forcael, E., Osorio, C., Castañeda, K., & Sánchez, O. (2025). Systematic review of Lean Construction: An approach to sustainability and efficiency in construction management. *Journal of Infrastructure Preservation and Resilience*, 6, 6. <https://doi.org/10.1186/s43065-025-00119-1>
- Ghansah, F. A., & Edwards, D. J. (2024). Digital technologies for quality assurance in the construction industry: Current trend and future research directions towards Industry 4.0. *Buildings*, 14(3), Article 844. <https://doi.org/10.3390/buildings14030844>
- Gumusburun Ayalp, G., & Arslan, F. (2025). Modeling critical rework factors in the construction industry: Insights and solutions. *Buildings*, 15(4), 606. <https://doi.org/10.3390/buildings15040606>
- Gurmu, A. T., & Mahmood, M. N. (2024). Critical factors affecting quality in building construction projects: Systematic review and meta-analysis. *Journal of Construction Engineering and Management*, 150(3). <https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-13794>
- Habert, G., Miller, S. A., John, V. M., Provis, J. L., Favier, A., Horvath, A., & Scrivener, K. L. (2020). Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1, 559–573.
- Han, C., Tang, F., Ma, T., Gu, L., & Tong, Z. (2022). Construction quality evaluation of asphalt pavement based on BIM and GIS. *Automation in Construction*, 141, Article 104398. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104398>
- Hinze, J. (2020). *Construction Safety (4th ed.)*. Wiley
- Huo, H. (2023). Design and application of intelligent construction quality inspection

- system based on BIM-RFID. *Advances in Civil Engineering*, 2023, Article 5638265. <https://doi.org/10.1155/2023/5638265>
- Hussamadin, R., Jansson, G., & Mukkavaara, J. (2023). Digital quality control system—A tool for reliable on-site inspection and documentation. *Buildings*, 13(2), 358. <https://doi.org/10.3390/buildings13020358>
- Hwang, B.-G., & Ng, W. J. (2020). Cost of quality implementation in construction projects: Implications for project performance. *International Journal of Project Management*.
- International Organization for Standardization. (2018). ISO 9004:2018 Quality management—Quality of an organization: Guidance to achieve sustained success.
- International Organization for Standardization. (2026). ISO 9000:2026 Quality management—Fundamentals and vocabulary.
- International Organization for Standardization. (2026). ISO 9001:2026: Quality management systems—Requirements. <https://www.iso.org/cms/live/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/08/84/88464.html>
- International Organization for Standardization. (2026). *ISO 9000:2026 Quality management systems—Fundamentals and vocabulary*. ISO
- International Organization for Standardization. (2024). ISO 9001 and quality management. <https://www.iso.org/iso-9001-quality-management.html>
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 19011:2018: Guidelines for auditing management systems*. ISO <https://www.iso.org/standard/70017.html>
- International Organization for Standardization. (2018). ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems—Requirements with guidance for use. <https://www.iso.org/standard/63787.html>
- International Organization for Standardization. (2025). ISO 9000:2025 Quality management systems—Fundamentals and vocabulary. <https://www.iso.org/standard/86940.html>
- International Organization for Standardization. (2026). ISO 9001:2026 Quality management systems—Requirements (6th ed.).
- International Organization for Standardization. (2017). *ISO 10006:2017: Quality management—Guidelines for quality management in projects*. ISO <https://www.iso.org/standard/70376.html>
- International Organization for Standardization. (2026a). ISO 9001:2026: Quality management systems—Requirements. <https://www.iso.org/standard/9001>
- International Organization for Standardization. (2026b). ISO 9000:2026: Quality management—Fundamentals and vocabulary. <https://committee.iso.org/standard/9000>
- International Organization for Standardization. (2026c). ISO 19011:2026: Guidelines for auditing management systems. https://www.iso.org/obp/ui?_escaped_fragment_=iso%3Astd%3Aiso%3A19011%3Aed-4%3Av1%3Aen
- Islam, M. S., Islam, M. M., Imran, H. R. T., Skitmore, M., & Nepal, M. P. (2021). Grasping the nonconformities in building construction supply chains. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 35(1), 04020141. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001546](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001546)

- Ji, W., & AbouRizk, S. M. (2018). Data-driven simulation model for quality-induced rework cost estimation and control using absorbing Markov chains. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(8), 04018078. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001534](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001534)
- Jin, R., Yu, M., Lin, H., & Zhang, Z. (2020). Big data, technology capability, and construction project quality: A cross-level investigation. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(3), 706–727. <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2020-0135>
- Juliana, A., Oladimeji, O., Abiodun, A. O., Haddad, A. N., & Tam, V. W. Y. (2024). Influence of rework on construction project performance in Nigeria. *International Journal of Construction Management*, 24(8), 888–893. <https://doi.org/10.1080/15623599.2023.2239439>
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. (2021). Peraturan Menteri PUPR Nomor 10 Tahun 2021 tentang Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2023). Panduan implementasi Building Information Modeling (BIM). <https://bim.pu.go.id>
- Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia. (2023). Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 53 Tahun 2023 tentang Penjaminan Mutu Pendidikan Tinggi.
- Khalfan, I., Jamaluddin, Z., & Widyarto, S. (2022). Effect of leadership and quality culture on quality management practices and operational performance of construction companies in Oman. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 39(7), 1824–1843. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-06-2021-0165>
- Khatatbeh, A. A. (2023). Quantifying the impact of ISO 9001 standard on the project and engineering management and success factors: A case of construction industry. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 30(6), 2564–2581. <https://doi.org/10.1108/ECAM-07-2021-0656>
- Kim, D. Y., Kumar, V., & Kumar, U. (2020). Relationship between quality management practices and innovation performance in manufacturing organizations. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(5), 907–927. <https://doi.org/10.1108/JMTM-10-2019-0374>
- Koskela, L. (2020). *Theory of Lean Construction*. In P. Tzortzopoulos, M. Kagioglou, & L. Koskela (Eds.), *Lean Construction: Core Concepts and New Frontiers* (pp. 3–13). Routledge <https://doi.org/10.1201/9780429203732-1>
- Love, P. E. D. (2025). Quantifying the costs of field rework in construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 152(1), 04025078. <https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-17026>
- Love, P. E. D., & Matthews, J. (2020). Quality, requisite imagination and resilience: Managing risk and uncertainty in construction. *Reliability Engineering & System Safety*, 204, 107172. <https://doi.org/10.1016/j.res.2020.107172>
- Love, P. E. D., Ika, L. A., Matthews, J., Fang, W., & Teo, P. (2021). The duality and paradoxical tensions of quality and safety: Managing error in construction projects. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- Love, P. E. D., Leonard, D., Matthews, J., Ford, G., & Fang, W. (2024). Setting a course to validate and operationalize Quality II in construction. *Journal of Construction*

- Engineering and Management*, 150(12), 06024002.
<https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-15451>
- Love, P. E. D., Matthews, J., Ika, L. A., Teo, P., Fang, W., & Morrison, J. E. (2021). From Quality-I to Quality-II: Cultivating an error culture to support lean thinking and rework mitigation in infrastructure projects. *Production Planning & Control*.
- Love, P. E. D., Smith, J., Ackermann, F., & Irani, Z. (2019). Making sense of rework and its unintended consequence in projects: The emergence of uncomfortable knowledge. *International Journal of Project Management*, 37(3), 501–516.
<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2019.02.004>
- Luo, H., Ling, L., Chen, K., Fordjour, A.-A. M., & Chen, L. (2022). Digital technology for quality management in construction: A review and future research directions. *Developments in the Built Environment*, 12, 100087.
<https://doi.org/10.1016/j.dibe.2022.100087>
- Ma, G., Wu, M., Wu, Z., & Yang, W. (2021). Single-shot multibox detector- and building information modeling-based quality inspection model for construction projects. *Journal of Building Engineering*, 38, Article 102216.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102216>
- Ma, Z., Cai, S., Mao, N., Yang, Q., Feng, J., & Wang, P. (2018). Construction quality management based on a collaborative system using BIM and indoor positioning. *Automation in Construction*, 92, 35–45.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.03.027>
- Manojkumar, S., & Kumar, M. (2021). Elimination of visor defects using 7 QC tools. *Materials Today: Proceedings*, 45, 8203–8206.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.382>
- Maraqa, M., Sacks, R., & Spatari, S. (2020). Empirical assessment of the impact of VDC and Lean on environment and waste in masonry operations. In *Proceedings of the 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction* (pp. 985–996). <https://doi.org/10.24928/2020/0040>
- May, K. W., KC, C., Ochoa, J. J., Gu, N., Walsh, J., Smith, R. T., & Thomas, B. H. (2022). The identification, development, and evaluation of BIM-ARDM: A BIM-based AR defect management system for construction inspections. *Buildings*, 12(2), Article 140. <https://doi.org/10.3390/buildings12020140>
- Mirshokraei, M., De Gaetani, C. I., & Migliaccio, F. (2019). A web-based BIM–AR quality management system for structural elements. *Applied Sciences*, 9(19), 3984. <https://doi.org/10.3390/app9193984>
- Montgomery, D. C. (2020). *Introduction to Statistical Quality Control (8th ed.)*. Wiley
<https://www.wiley.com/en-us/Introduction+to+Statistical+Quality+Control%2C+8th+Edition-p-9781119723098>
- Montgomery, D. C. (2019). *Introduction to statistical quality control (8th ed.)*. John Wiley & Sons.
<https://www.wiley.com/en-us/Introduction+to+Statistical+Quality+Control%2C+8th+Edition-p-9781119399308>
- Mostofi, F., Tokdemir, O. B., & Toğan, V. (2023). Comprehensive root cause analysis of construction defects using semisupervised graph representation learning. *Journal of Construction Engineering and Management*, 149(9), Article 04023079.
<https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-13435>

- Nyakala, S. K., Pretorius, J., & Vermeulen, A. (2021). Construction quality process implementation as a source of competitive advantage in small and medium-sized construction projects. *Journal of Construction Business and Management*, 4(2), 46–54. <https://doi.org/10.15641/jcbm.4.2.862>
- Oakland, J. S. (2021). *Total Quality Management and Operational Excellence (5th ed.)*. Routledge
<https://www.routledge.com/Total-Quality-Management-and-Operational-Excellence/Oakland/p/book/9780367494507>
- Oakland, J. S., & Marosszeky, M. (2017). *Total Construction Management: Lean Quality in Construction Project Delivery*. Routledge
- Okudan, O., & Budayan, C. (2021). Reasons for performance differences among ISO 9001:2015-certified construction companies in the perspective of TQM elements. *Journal of Management in Engineering*, 37(5). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000952](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000952)
- Omotayo, T. S., Boateng, P., Osobajo, O. A., Oke, A., & Obi, L. (2020). Systems thinking and CMM for continuous improvement in the construction industry. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 69(2), 271–296. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-11-2018-0417>
- Omotayo, T. S., Kulatunga, U., & Bjeirmi, B. (2018). Critical success factors for Kaizen implementation in the Nigerian construction industry. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 67(9), 1816–1836. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-11-2017-0296>
- Pemerintah Republik Indonesia. (2017). Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2017 tentang Jasa Konstruksi.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2023). Undang-Undang Nomor 6 Tahun 2023 tentang Penetapan Perppu Cipta Kerja menjadi Undang-Undang.
- Project Management Institute. (2021). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) (7th ed.). <https://www.pmi.org/pmbok-guide-standards/foundational/pmbok>
- Putri, K. N. R. (2020). Kajian pelaksanaan perbaikan berkelanjutan filosofi Kaizen pada proyek konstruksi di Indonesia. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 26(2), 128–139. <https://doi.org/10.14710/mkts.v26i2.23069>
- Qi, Y., Qian, Q. K., Meijer, F. M., & Visscher, H. J. (2021). Unravelling causes of quality failures in building energy renovation projects of Northern China: Quality management perspective. *Journal of Management in Engineering*, 37(3), 04021017. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000888](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000888)
- Rauzana, A., & Usni, D. A. (2020). Kajian faktor-faktor penyebab rendahnya kinerja mutu pada proyek konstruksi di Provinsi Aceh. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 26(2), 267–274. <https://doi.org/10.14710/mkts.v26i2.24065>
- Re Cecconi, F., Altinier, M., & Tinti, C. (2026). A data-driven optimization framework for project quality management in construction. *Buildings*, 16(5), 1017. <https://doi.org/10.3390/buildings16051017>
- Rosli, M. F., Tamyez, P. F. M., & Zahari, A. R. (2023). The effects of suitability and acceptability of lean principles in the flow of waste management on construction project performance. *International Journal of Construction Management*, 23(1), 114–125. <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1853006>

- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2021). *BIM Handbook (3rd ed.)*. Wiley
<https://www.wiley.com/en-us/BIM+Handbook%2C+3rd+Edition-p-9781119287538>
- Salimian, H., Rashidirad, M., & Soltani, E. (2021). Supplier quality management and performance: The effect of supply chain oriented culture. *Production Planning & Control*, 32(11), 942–958. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1777478>
- Samuel, W. B., Eswan, & Mahendra, W. (2026). Application of statistical quality control in monitoring concrete compressive strength. *Journal of Applied Sciences, Management and Engineering Technology*, 7(1), 85–92. <https://doi.org/10.31284/j.jasmet.2026.v7i1.8288>
- Seiß, S., Zheng, Y., Melzner, J., Wium, J., & Seppänen, O. (2025). Ontology-based representation of quality assurance and inspection planning in construction. *Automation in Construction*, 177, 106268. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106268>
- Setiadi, M. S., & Usman, K. (2023). Analisis pengendalian mutu beton dengan metode Statistical Quality Control (studi kasus: Rumah Susun PIK Pulo Gadung). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 11(3), 593–602. <https://doi.org/10.23960/jrsdd.v11i3.3669>
- Setiadi, M. S., Usman, K., Sebayang, S., & Kustiani, I. (2024). Analisis pengendalian mutu beton pada proyek Rumah Susun PIK Pulo Gadung dengan metode Statistical Quality Control. *Journal of Sustainable Construction*, 3(2), 1–15. <https://doi.org/10.26593/josc.v3i2.7218>
- Setiawan, E. Y., Nanda, M. P., & Abdulgani, H. (2025). Analisis pengendalian mutu beton ready mix pada pekerjaan pile cap menggunakan Statistical Quality Methods Control. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology*, 6(1), 8–18. <https://doi.org/10.52158/jaceit.v6i1.942>
- Setiono, S., Rifai, M., & Wibawa, L. A. (2023). Identifikasi waste dalam penerapan lean construction (Studi kasus: Proyek pembangunan Tower X, Jakarta Pusat). *Matriks Teknik Sipil*, 11(3). <https://doi.org/10.20961/mateksi.v11i3.76526>
- Sheng, D., Ding, L., Zhong, B., Love, P. E. D., Luo, H., & Chen, J. (2020). Construction quality information management with blockchains. *Automation in Construction*, 120, 103373. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103373>
- Shooshtarian, S., Gurm, A. T., & Mahmood, M. N. (2024). Application of the DEMATEL approach to analyse the root causes of building defects. *Quality & Quantity*, 58, 4641–4660. <https://doi.org/10.1007/s11135-024-01872-3>
- Skrzypczak, I., Kokoszka, W., Zięba, J., Leśniak, A., Bajno, D., & Bednarz, L. (2020). A proposal of a method for ready-mixed concrete quality assessment based on statistical-fuzzy approach. *Materials*, 13(24), 5674. <https://doi.org/10.3390/ma13245674>
- Studer, W. P., & De Brito Mello, L. C. B. (2021). Core elements underlying supply chain management in the construction industry: A systematic literature review. *Buildings*, 11(12), Article 569. <https://doi.org/10.3390/buildings11120569>
- Talapatra, S., & Uddin, M. K. (2019). *Total Quality Management: Principles and Practices*. Springer <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-13-8205-0>
- Tetik, M., Peltokorpi, A., Seppänen, O., & Holmström, J. (2019). Direct digital construction: Technology-based operations management practice for continuous

- improvement of construction industry performance. *Automation in Construction*, 107, 102910. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102910>
- Tjitradi, D., Eliatun, E., & Tjitradi, O. S. (2021). Pemodelan penurunan pondasi struktur bangunan di tanah lunak Kota Banjarmasin menggunakan ANSYS. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 5(2). <https://jurnal.borneo.ac.id/index.php/borneoengineering/article/view/1964>
- Toma, H. M., Abdelazim, A. N., & Ibrahim, A. H. (2026). Assessment of estimation performance for activities' cost and time in construction projects using statistical process control. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 33(4), 2669–2695. <https://doi.org/10.1108/ECAM-08-2024-0995>
- Vincke, S., & Vergauwen, M. (2022). Vision based metric for quality control by comparing built reality to BIM. *Automation in Construction*, 144, Article 104581. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104581>
- Wawak, S., Ljevo, Ž., & Vukomanović, M. (2020). Understanding the key quality factors in construction projects—A systematic literature review. *Sustainability*, 12(24), Article 10376. <https://doi.org/10.3390/su122410376>
- Weerasuriya, G. T., Perera, S., & Calheiros, R. N. (2025). Technological imperatives for issues in certification of quality, progress, and payments in construction projects: A systematic review. *Construction Economics and Building*, 25(1). <https://doi.org/10.5130/AJCEB.v25i1.8680>
- Willar, D., & Pangemanan, D. D. G. (2020). Hambatan signifikan implementasi sistem manajemen mutu pelaksana konstruksi. *TEKNIK*, 41(2), 100–110. <https://doi.org/10.14710/teknik.v0i0.27252>
- Willar, D., Trigunarsyah, B., & Coffey, V. (2016). Organisational culture and quality management system implementation in Indonesian construction companies. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 23(2), 114–133. <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2015-0026>
- Yarnold, J., Banihashemi, S., Lemckert, C., & Golizadeh, H. (2023). Building and construction quality: Systematic literature review, thematic and gap analysis. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 41(5), 942–964. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-05-2021-0072>
- Yoon, S., Hastak, M., & Lee, J. (2018). Suitability of intelligent compaction for asphalt pavement quality control and quality assurance. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(4). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001401](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001401)
- Zeng, S. X., Xie, X. M., & Tam, C. M. (2020). Relationship between quality management systems and organizational performance: A systematic review. *Sustainability*.
- Zeng, S. X., Xie, X. M., Tam, C. M., & Shen, L. Y. (2017). An empirical examination of the benefits from implementing integrated management systems. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1736–1745. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.076>
- Zhang, Q.-W., Liao, P.-C., Liang, M., & Chan, A. P. C. (2022). Critical factors influencing learning from quality failures in the construction of grid infrastructure. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 29(4), 1730–1750. <https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2022-0229>

