

ANALISIS FAKTOR PENYEBAB *DEFECT* STRUKTUR BETON BERTULANG MENGGUNAKAN *SIX SIGMA*

Ajeng Sukaena Beddu¹, Kartika Hapsari Sutantiningrum^{2*}

Jurusan Teknik Sipil^{1,2}

Politeknik Negeri Jakarta

Jl. Prof. Dr. G.A. Siwabessy, Kampus UI Depok, 16424

ajengsknaaa@gmail.com¹, ra.kartikahapsarisutantiningrum@sipil.pnj.ac.id^{2*}

Abstrak

Pekerjaan struktur beton bertulang merupakan komponen utama bangunan yang harus memenuhi standar mutu karena berpengaruh terhadap keamanan dan kinerja struktur. Namun, pada pelaksanaan proyek konstruksi masih ditemukan berbagai *defect* yang dapat menurunkan kualitas pekerjaan dan memerlukan tindakan perbaikan. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi jenis *defect* yang dominan, mengukur tingkat kapabilitas proses menggunakan metode *Six Sigma*, menganalisis faktor dominan penyebab *defect*, serta menyusun usulan perbaikan untuk meningkatkan mutu pekerjaan struktur beton bertulang. Penelitian menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan *Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control (DMAIC)*. Data penelitian diperoleh melalui *Non-Conformance Report (NCR)*, observasi lapangan, kuesioner, dan wawancara pada Proyek Kantor X, Jakarta Pusat. Tahap *Measure* dilakukan dengan menghitung *Defect per Million Opportunities (DPMO)* dan tingkat *sigma*, sedangkan tahap *Analyze* menggunakan diagram *fishbone* serta analisis nilai *mean* untuk menentukan faktor penyebab dominan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *defect* keropos merupakan jenis *defect* yang paling dominan dengan persentase sebesar 48,78% pada kolom, 43,54% pada pelat, dan 40,00% pada dinding struktur. Tingkat *sigma* yang diperoleh berturut-turut sebesar 2,76 pada kolom, 2,90 pada pelat, dan 2,67 pada dinding struktur, yang menunjukkan bahwa kualitas proses masih berada pada tingkat rata-rata industri dan memerlukan peningkatan. Analisis faktor penyebab menunjukkan bahwa faktor sumber daya manusia merupakan penyebab dominan dengan nilai *mean* sebesar 12,83, sedangkan indikator yang paling berpengaruh adalah ketidakteknelitian dan ketidakdisiplinan tenaga kerja

dengan nilai *mean* sebesar 3,375. Berdasarkan hasil tersebut, diusulkan peningkatan pengawasan, pengarahan tenaga kerja, penerapan prosedur kerja yang lebih disiplin, serta pengendalian mutu secara berkelanjutan untuk meminimalkan terjadinya *defect* pada pekerjaan struktur beton bertulang.

Kata kunci:

Cacat Mutu, DMAIC, Pengendalian Mutu, *Six Sigma*, Struktur Beton Bertulang

Abstract

Reinforced concrete structural work is a critical component of building construction that must meet quality standards to ensure structural safety and performance. However, various defects are still frequently encountered during construction, reducing work quality and requiring corrective actions. This study aims to identify the dominant defects, evaluate process capability using the Six Sigma method, analyze the dominant factors causing defects, and propose improvement strategies to enhance the quality of reinforced concrete structural work. This study employed a quantitative descriptive method using the Define, Measure, Analyze, Improve, and Control (DMAIC) approach. Data were collected through Non-Conformance Reports (NCR), field observations, questionnaires, and interviews conducted in Office Building Project X, Central Jakarta. The Measure phase involved calculating the Defect per Million Opportunities (DPMO) and sigma level, while the Analyze phase employed fishbone diagrams and mean analysis to identify the dominant causal factors. The results revealed that honeycombing was the most dominant defect, accounting for 48.78% of column

defects, 43.54% of slab defects, and 40.00% of structural wall defects. The sigma levels for columns, slabs, and structural walls were 2.76, 2.90, and 2.67, respectively, indicating that the process capability remains at an average industrial level and requires further quality improvement. Human resources were identified as the dominant factor contributing to defects, with a mean value of 12.83, while worker inaccuracy and lack of discipline were the most influential indicators, with a mean value of 3.375. Based on these findings, improvements are recommended through enhanced supervision, worker guidance, stricter implementation of work procedures, and continuous quality control to minimize defects in reinforced concrete structural work.

Keywords:

Defects, DMAIC, Quality Control, Reinforced Concrete Structure, Six Sigma

I. PENDAHULUAN

Pekerjaan struktur beton bertulang merupakan komponen utama dalam konstruksi gedung yang berfungsi menahan beban serta menjaga stabilitas bangunan (Yip et al., 2022). Kualitas pekerjaan struktur sangat menentukan keamanan, keandalan, dan umur layan bangunan sehingga harus memenuhi standar mutu yang telah ditetapkan (Ghafiki et al., 2023). Namun, pada pelaksanaan proyek konstruksi masih sering ditemukan berbagai *defect* pada elemen struktur beton bertulang yang dapat menurunkan kualitas pekerjaan dan berpotensi menimbulkan *rework* (Deore Akshay & A. Konnur, 2020).

Berdasarkan hasil observasi pada Proyek Kantor X di Jakarta Pusat, ditemukan beberapa jenis *defect* pada pekerjaan struktur beton bertulang, seperti beton keropos (*honeycombing*), segregasi, rembes, deformasi, dan kerusakan hingga tulangan terlihat. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya evaluasi pengendalian mutu agar pekerjaan memenuhi spesifikasi teknis (Ananda & Mulyani, 2021). *Defect* pada pekerjaan struktur beton bertulang dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain sumber daya manusia, metode pelaksanaan, pengawasan, serta material dan peralatan yang digunakan selama proses konstruksi (Singh et al., 2022).

Salah satu metode untuk meningkatkan kualitas konstruksi adalah *Six Sigma* dengan pendekatan *Define, Measure, Analyze, Improve, and Control*

(DMAIC). Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi jenis *defect*, mengukur kapabilitas proses melalui nilai *Defect per Million Opportunities* (DPMO) dan tingkat *sigma*, menganalisis akar penyebab terjadinya *defect*, serta menyusun usulan perbaikan (Putri et al., 2024).

Penelitian mengenai penerapan *Six Sigma* pada bidang konstruksi telah banyak dilakukan. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pengukuran tingkat *defect* atau identifikasi penyebab secara umum, sehingga belum menunjukkan faktor penyebab yang paling dominan berdasarkan analisis kuantitatif. Oleh karena itu, penelitian ini mengombinasikan metode *Six Sigma* dengan analisis faktor penyebab *defect* menggunakan kuesioner berdasarkan variabel sumber daya manusia, metode pelaksanaan, pengawasan, serta material dan peralatan. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi *defect* dominan, menentukan nilai DPMO dan tingkat *sigma*, menganalisis faktor dominan penyebab *defect*, serta menyusun usulan perbaikan pada pekerjaan struktur beton bertulang di Proyek Kantor X.

II. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Proyek Pembangunan Kantor X di Jakarta Pusat. Objek penelitian difokuskan pada pekerjaan struktur beton bertulang yang meliputi elemen kolom, pelat, dan dinding struktur pada bangunan yang terdiri atas 3 lantai *basement*, 12 lantai utama, dan 1 lantai atap.

Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan utama:

1. Identifikasi Masalah dan Studi Literatur

Tahap awal meliputi identifikasi permasalahan terkait *defect* pada pekerjaan struktur beton bertulang, perumusan masalah dan tujuan penelitian, serta studi literatur mengenai *Six Sigma*, DMAIC, *defect*, dan faktor-faktor penyebab *defect* pada proyek konstruksi.

2. Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data primer dan sekunder. Data primer diperoleh secara langsung di lapangan melalui observasi, wawancara dengan pihak *Quality Control* (QC), serta kuesioner yang diisi oleh responden pekerja struktur beton bertulang.

Sementara itu, data sekunder mencakup dokumen pendukung seperti *Non-Conformance Report (NCR)*, gambar kerja, dan panduan metode perbaikan struktur.

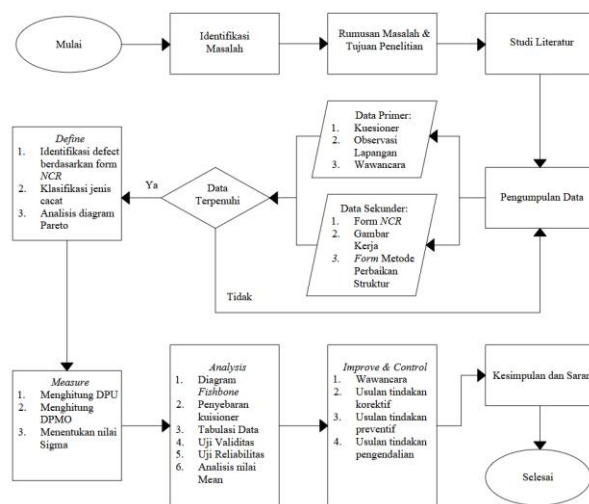
3. Analisis Data dan Pembahasan

- Tahap *Define*: mengidentifikasi *defect* berdasarkan data *NCR*, mengklasifikasikan jenis *defect*, serta menentukan *defect* dominan menggunakan Diagram Pareto.
- Tahap *Measure*: menghitung nilai *Defect per Unit (DPU)*, *Defect per Million Opportunities (DPMO)*, dan tingkat *sigma* untuk mengukur kapabilitas proses.
- Tahap *Analyze*: menganalisis faktor penyebab *defect* menggunakan Diagram *Fishbone* serta mengolah data kuesioner melalui tabulasi data, uji validitas, uji reliabilitas, dan analisis *mean* untuk menentukan faktor dominan penyebab *defect*.
- Tahap *Improve dan Control*: menyusun usulan tindakan perbaikan dan pengendalian berdasarkan hasil analisis serta wawancara dengan pihak *Quality Control (QC)*.

4. Kesimpulan dan Saran

Merumuskan kesimpulan berdasarkan hasil penelitian serta memberikan saran sebagai rekomendasi untuk meningkatkan mutu pekerjaan struktur beton bertulang dan sebagai acuan penelitian selanjutnya.

Adapun tahapan dari penelitian ini sebagai berikut:



Gambar 1 Flowchart penelitian

Teknik Pengumpulan Data

1. Data Primer

a. Observasi Lapangan

Observasi dilakukan secara langsung pada Proyek Kantor X di Jakarta Pusat untuk mengamati kondisi pekerjaan struktur beton bertulang serta mengidentifikasi jenis-jenis *defect* yang terjadi selama proses pelaksanaan konstruksi.

b. Wawancara

Wawancara dilakukan kepada pihak *Quality Control (QC)* yang terlibat dalam proyek untuk memperoleh informasi mengenai penyebab terjadinya *defect*, proses penanganan, serta upaya perbaikan dan pengendalian mutu yang telah diterapkan di lapangan.

c. Kuesioner

Kuesioner disebarkan kepada responden yang terlibat dalam pekerjaan struktur beton bertulang menggunakan teknik *non-probability sampling* dengan metode *purposive sampling*, yaitu pemilihan responden berdasarkan kriteria tertentu yang sesuai dengan tujuan penelitian (Sugiyono, 2023). Instrumen penelitian menggunakan skala Likert 4 poin (1–4) untuk mengukur tingkat persetujuan responden terhadap setiap pernyataan.

2. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari dokumen proyek yang meliputi *Non-Conformance Report (NCR)* sebagai sumber utama untuk mengidentifikasi jenis dan jumlah *defect*, serta gambar kerja struktur yang digunakan untuk mengetahui lokasi dan elemen struktur yang mengalami *defect*. Dokumen metode perbaikan struktur juga digunakan sebagai referensi dalam penyusunan usulan tindakan *improve* dan *control*.

Teknik Analisis Data

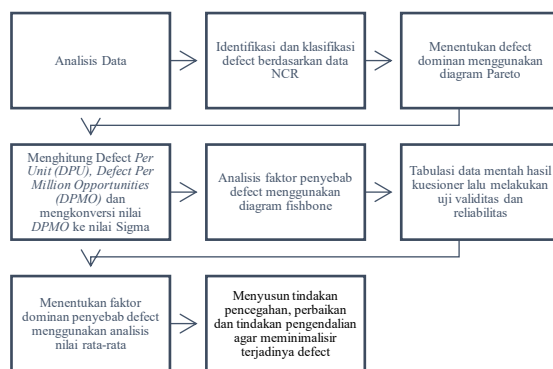
1. Analisis Data Kualitatif (Wawancara)

Data hasil wawancara dianalisis secara deskriptif untuk memperoleh informasi mengenai penyebab *defect*, metode perbaikan yang telah diterapkan, serta rekomendasi tindakan *improve* dan *control* pada pekerjaan struktur beton bertulang.

2. Analisis Data Kuantitatif

Data kuantitatif yang berasal dari *Non-Conformance Report (NCR)* dan kuesioner

dianalisis menggunakan metode *Six Sigma* dengan pendekatan *Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control (DMAIC)*. Tahap *Define* dilakukan dengan mengidentifikasi dan mengklasifikasikan jenis *defect* serta menentukan *defect* dominan menggunakan Diagram Pareto. Tahap *Measure* dilakukan dengan menghitung *Defect per Unit (DPU)*, *Defect per Million Opportunities (DPMO)*, dan tingkat *sigma*. Selanjutnya, data kuesioner dianalisis menggunakan IBM SPSS Statistics melalui uji validitas, uji reliabilitas, dan analisis deskriptif menggunakan nilai *mean* untuk menentukan faktor dominan penyebab *defect*.



Gambar 2 Flowchart Analisis Data

III. ANALISIS DAN PERANCANGAN

Identifikasi *Defect* pada Pekerjaan Struktur Beton Bertulang (*Define*)

Pada tahap *Define*, dilakukan identifikasi *defect* pada pekerjaan struktur beton bertulang berdasarkan data *Non-Conformance Report (NCR)* Proyek Kantor X. Identifikasi dilakukan terhadap tiga elemen struktur, yaitu kolom, pelat, dan dinding struktur, untuk mengetahui distribusi *defect* pada masing-masing elemen. Rekapitulasi *defect* pada setiap elemen struktur disajikan pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 1, identifikasi terhadap 665 unit kolom menunjukkan persentase *defect* sebesar 24,66%. Nilai tersebut menggambarkan proporsi *defect* yang ditemukan pada elemen kolom.

Berdasarkan Tabel 2, hasil identifikasi terhadap 1.121 *section* pelat menunjukkan persentase *defect* sebesar 18,64%. Persentase tersebut mencerminkan kondisi *defect* pada elemen pelat selama pelaksanaan pekerjaan struktur beton bertulang.

Tabel 1 Rekapitulasi *Defect* pada Struktur Kolom

Jenis Cacat Pekerjaan	Jumlah Cacat	Jumlah Total	Satuan	%
Kerpos Ringan Terjadi Segregasi Beton Kolom Kotor Kerpos Sampai Terlihat Besi	80	665	Unit	48,78%
	49	665	Unit	29,88%
	26	665	Unit	15,85%
	9	665	Unit	5,49%
Total	164	665	Unit	24,66%

Tabel 2 Rekapitulasi *Defect* pada Struktur Pelat

Jenis Cacat Pekerjaan	Jumlah Cacat	Jumlah Total	Satuan	%
Kerpos Ringan Beton Slab Kotor Retak Rambut/Susut Rembes/Bocor	91	1121	Section	43,54%
	59	1121	Section	28,23%
	37	1121	Section	17,70%
	22	1121	Section	10,53%
Total	209	1121	Section	18,64%

Tabel 3 Rekapitulasi *Defect* pada Dinding Struktur

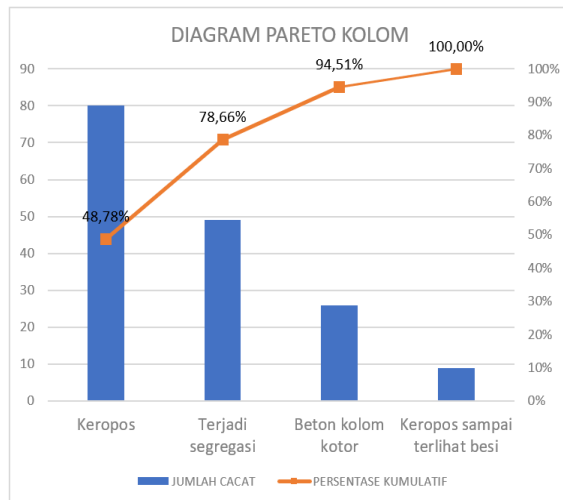
Jenis Cacat Pekerjaan	Jumlah Cacat	Jumlah Total	Satuan	%
Kerpos	8	66	Section	40,00%
Deformasi	6	66	Section	30,00%
Rembes/Bocor	3	66	Section	15,00%
Terjadi Segregasi Beton Kolom Kotor	2	66	Section	10,00%
	1	66	Section	5,00%
Total	20	66	Section	30%

Berdasarkan Tabel 3, hasil identifikasi terhadap 66 unit dinding struktur menunjukkan persentase *defect* sebesar 30%. Nilai tersebut menunjukkan tingkat kejadian *defect* pada elemen dinding struktur.

Analisis Jenis *Defect* Dominan Menggunakan Diagram Pareto (*Define*)

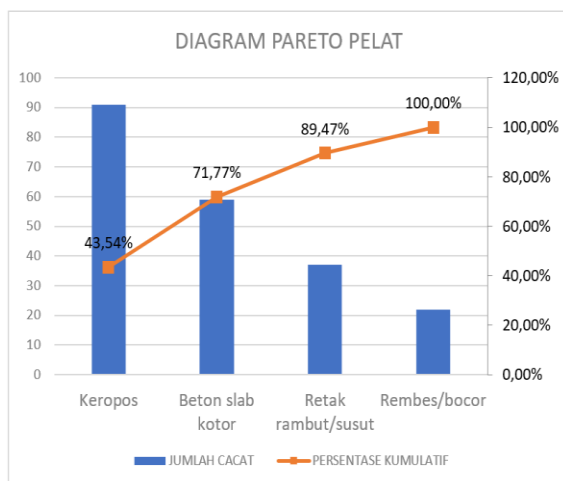
Setelah dilakukan identifikasi *defect* pada setiap elemen struktur, tahap selanjutnya adalah analisis menggunakan Diagram Pareto. Analisis ini bertujuan untuk menentukan jenis *defect* yang menjadi prioritas

perbaikan berdasarkan frekuensi kejadian pada masing-masing elemen struktur (Novita Ramadhona et al., 2025). Hasil analisis Diagram Pareto pada pekerjaan kolom, pelat, dan dinding struktur disajikan pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5.



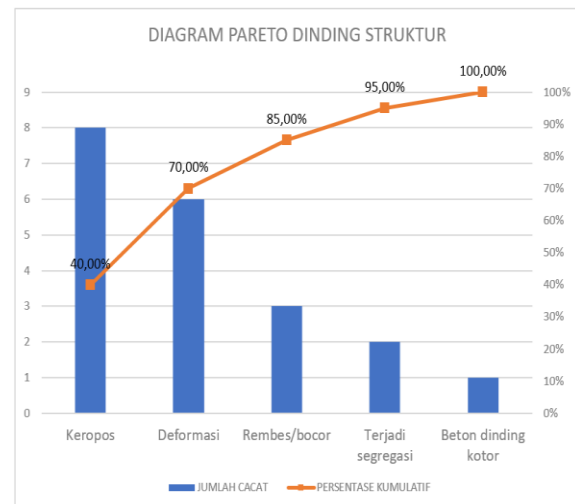
Gambar 3 Diagram Pareto Pekerjaan Kolom

Berdasarkan Gambar 3, hasil analisis Diagram Pareto menunjukkan bahwa jenis *defect* yang paling dominan pada pekerjaan kolom adalah beton keropos dengan persentase 48,78% dari total *defect* yang ditemukan.



Gambar 4 Diagram Pareto Pekerjaan Pelat

Berdasarkan Gambar 4, jenis *defect* yang paling dominan pada pekerjaan pelat adalah beton keropos dengan persentase 43,54%.



Gambar 5 Diagram Pareto Pekerjaan Dinding Struktur

Berdasarkan Gambar 3, hasil analisis menunjukkan bahwa beton keropos merupakan *defect* dominan pada pekerjaan dinding struktur dengan persentase 40,00%. Temuan ini menunjukkan bahwa beton keropos menjadi *defect* yang paling sering muncul pada ketiga elemen struktur.

Analisis Tingkat *Sigma* Struktur Beton Bertulang (*Measure*)

Tahap *Measure* dilakukan untuk mengukur tingkat kualitas pekerjaan struktur beton bertulang menggunakan metode *Six Sigma* (Dody Sirait et al., 2025). Pengukuran dilakukan melalui perhitungan *Defect per Unit (DPU)* menggunakan Persamaan (1), dilanjutkan dengan *Defect per Million Opportunities (DPMO)* menggunakan Persamaan (2). Nilai *sigma* selanjutnya diperoleh berdasarkan konversi nilai DPMO.

$$DPU = \frac{\text{Jumlah Defect}}{\text{Jumlah Unit}} \quad (1)$$

$$DPMO = DPU \times 1.000.000 \quad (2)$$

Nilai *sigma* selanjutnya diperoleh melalui konversi nilai DPMO menggunakan tabel konversi *Six Sigma*. Hasil perhitungan DPMO dan nilai *sigma* pada pekerjaan kolom disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil Perhitungan DPU, DPMO, dan Nilai Sigma pada Pekerjaan Kolom

Jenis Cacat Pekerjaan	Total Cacat	Nilai DPU	Nilai DPMO	Nilai Sigma
Keropos	80	0,120301	120.300,8	2,76
Terjadi Segregasi Beton Kolom	49	0,073684	73.684,21	2,95
Kotor Keropos Sampai Terlihat Besi	26	0,039098	39.097,74	3,26
	9	0,013534	13.533,83	3,71

Berdasarkan Tabel 4, nilai *sigma* pada pekerjaan kolom berada pada rentang 2,76–3,71. *Defect* beton keropos memiliki nilai *sigma* terendah sebesar 2,76. Nilai *sigma* yang semakin rendah menunjukkan bahwa kualitas proses masih perlu ditingkatkan karena tingkat *defect* yang terjadi relatif lebih tinggi. Hasil perhitungan tingkat *sigma* pada pekerjaan pelat selanjutnya disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil Perhitungan DPU, DPMO, dan Nilai Sigma pada Pekerjaan Pelat

Jenis Cacat Pekerjaan	Jumlah Cacat	Nilai DPU	Nilai DPMO	Nilai Sigma
Keropos	91	0,081178	81.177,52	2,90
Beton Slab Kotor Retak	59	0,052632	52.631,58	3,39
Rambut/Susut	37	0,033006	33.006,24	3,43
Rembes/Bocor	22	0,019625	19.625,33	3,55

Berdasarkan Tabel 5, nilai *sigma* pada pekerjaan pelat berada pada rentang 2,90–3,55. *Defect* beton keropos memiliki nilai *sigma* terendah sebesar 2,91, yang menunjukkan bahwa jenis *defect* tersebut memerlukan perhatian lebih dalam upaya peningkatan kualitas. Hasil perhitungan tingkat *sigma* pada pekerjaan dinding struktur selanjutnya disajikan pada Tabel 6.

Berdasarkan Tabel 6, *defect* beton keropos memiliki nilai *sigma* terendah sebesar 2,67. Nilai tersebut menunjukkan bahwa *defect* beton keropos masih menjadi prioritas dalam upaya peningkatan kualitas pada pekerjaan dinding struktur. Secara keseluruhan, hasil analisis tingkat *sigma* menunjukkan bahwa *defect* beton keropos secara konsisten memiliki nilai *sigma* terendah pada pekerjaan kolom, pelat, dan dinding struktur. Temuan ini mengindikasikan bahwa *defect* beton keropos merupakan *critical defect* yang

memerlukan prioritas penanganan untuk meningkatkan kualitas pekerjaan struktur beton bertulang.

Tabel 6 Hasil Perhitungan DPU, DPMO, dan Nilai Sigma pada Pekerjaan Dinding Struktur

Jenis Cacat Pekerjaan	Jumlah Cacat	Nilai DPU	Nilai DPMO	Nilai Sigma
Keropos	8	0,121212	121.212,1	2,67
Deformasi	6	0,090909	90.909,09	2,84
Rembes/Bocor	3	0,045455	45.454,55	3,19
Terjadi Segregasi Beton	2	0,030303	30.303,03	3,28
Dinding Kotor	1	0,015152	15.151,52	3,59

Identifikasi Variabel dan Indikator Penyebab Defect (Analyze)

Tahap *Analyze* dilakukan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi terjadinya *defect* pada pekerjaan struktur beton bertulang (Rahayu et al., 2023). Analisis didasarkan pada indikator-indikator yang diperoleh dari kajian literatur dan digunakan sebagai dasar penyusunan instrumen kuesioner. Faktor pertama yang dianalisis adalah sumber daya manusia (X1), yang berkaitan dengan kompetensi dan perilaku tenaga kerja dalam pelaksanaan pekerjaan struktur beton bertulang. Adapun indikator yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Kurangnya pengalaman kerja tenaga kerja dalam pekerjaan struktur beton bertulang.
2. Rendahnya keterampilan teknis dalam pelaksanaan pekerjaan struktur beton bertulang.
3. Kurangnya pemahaman terhadap gambar kerja dan spesifikasi teknis.
4. Ketidaktepatan atau kurangnya kedisiplinan dalam pelaksanaan pekerjaan.
5. Kurangnya komunikasi dan koordinasi antar tenaga kerja di lapangan.

Faktor berikutnya yang dianalisis adalah metode pelaksanaan (X2). Faktor ini berkaitan dengan kesesuaian prosedur kerja, penerapan metode pelaksanaan, serta tahapan pekerjaan yang berpotensi memengaruhi terjadinya *defect* pada pekerjaan struktur beton bertulang. Adapun indikator yang digunakan untuk mengukur faktor metode pelaksanaan adalah sebagai berikut:

1. Ketidaksesuaian metode kerja dengan spesifikasi teknis proyek.
2. Kesalahan dalam urutan atau tahapan pelaksanaan pekerjaan struktur beton bertulang.
3. Tidak diterapkannya standar operasional prosedur (*SOP*) secara konsisten.
4. Perencanaan metode kerja yang kurang matang sebelum pelaksanaan.
5. Kurangnya evaluasi dan perbaikan metode kerja selama proses pelaksanaan.

Faktor selanjutnya yang dianalisis adalah pengawasan (X3). Faktor ini berkaitan dengan pelaksanaan pengawasan selama pekerjaan struktur beton bertulang untuk memastikan pekerjaan sesuai dengan standar mutu. Adapun indikator yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Kurangnya intensitas inspeksi dan kontrol mutu di lapangan.
2. Keterlambatan dalam mendeteksi kesalahan pekerjaan struktur beton bertulang.
3. Kurangnya ketegasan dalam menegakkan standar mutu pekerjaan.
4. Lemahnya koordinasi antara pengawas dan pelaksana proyek.
5. Tidak dilakukannya pemeriksaan pekerjaan sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya.

Faktor terakhir yang dianalisis adalah material dan peralatan (X4). Faktor ini mencakup indikator yang berkaitan dengan kualitas material dan penggunaan peralatan dalam pekerjaan struktur beton bertulang. Adapun indikator yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Penggunaan material yang tidak sesuai dengan spesifikasi teknis proyek.
2. Keterlambatan pengadaan material yang mengganggu kelancaran pekerjaan.
3. Kualitas material yang tidak konsisten atau tidak memenuhi standar mutu.
4. Kondisi peralatan kerja yang kurang layak atau sering mengalami kerusakan.
5. Ketidaksesuaian jenis atau kapasitas peralatan dengan kebutuhan pekerjaan struktur beton bertulang.

Uji Validitas dan Reliabilitas Instrumen Penelitian (*Analyze*)

Berdasarkan indikator yang telah disusun, instrumen kuesioner selanjutnya diuji melalui uji

validitas dan uji reliabilitas untuk memastikan setiap butir pernyataan mampu mengukur faktor penyebab *defect* secara tepat dan konsisten. Hasil uji validitas dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Hasil Uji Validitas

Variabel	Pernyataan	r Hitung	r Tabel	Hasil
X1	1	0,549	0,404	Valid
	2	0,719	0,404	Valid
	3	0,679	0,404	Valid
	4	0,671	0,404	Valid
	5	0,596	0,404	Valid
X2	1	0,745	0,404	Valid
	2	0,812	0,404	Valid
	3	0,771	0,404	Valid
	4	0,747	0,404	Valid
	5	0,452	0,404	Valid
X3	1	0,678	0,404	Valid
	2	0,814	0,404	Valid
	3	0,534	0,404	Valid
	4	0,653	0,404	Valid
	5	0,849	0,404	Valid
X4	1	0,883	0,404	Valid
	2	0,742	0,404	Valid
	3	0,701	0,404	Valid
	4	0,685	0,404	Valid
	5	0,751	0,404	Valid

Berdasarkan Tabel 7, seluruh butir pernyataan memiliki nilai *r* hitung yang lebih besar daripada *r* tabel (0,404) (Ghozali, 2021). Dengan demikian, seluruh butir pernyataan pada variabel sumber daya manusia, metode pelaksanaan, pengawasan, serta material dan peralatan dinyatakan valid dan layak digunakan dalam pengumpulan data penelitian. Setelah seluruh butir pernyataan dinyatakan valid, tahap selanjutnya adalah melakukan uji reliabilitas. Uji ini bertujuan untuk mengetahui tingkat konsistensi instrumen penelitian dalam mengukur setiap variabel. Hasil uji reliabilitas disajikan pada Tabel 8.

Berdasarkan Tabel 8, seluruh variabel memiliki nilai *Cronbach's Alpha* lebih besar dari 0,60. Dengan demikian, instrumen penelitian dinyatakan reliabel dan memiliki tingkat konsistensi yang baik, sehingga layak digunakan untuk analisis lebih lanjut (Kłosowska et al., 2023).

Tabel 8 Hasil Uji Reliabilitas

Variabel	Nilai Cronbach's Alpha	Keterangan
X1 Sumber Daya Manusia	0,642	Reliabilitas Sedang
X2 Metode Pelaksanaan	0,778	Reliabilitas Tinggi
X3 Pengawasan	0,731	Reliabilitas Tinggi
X4 Alat dan Material	0,809	Reliabilitas Tinggi

Analisis Faktor Penyebab *Defect* pada Pekerjaan Struktur Beton Bertulang (*Analyze*)

Setelah instrumen penelitian dinyatakan valid dan reliabel, selanjutnya dilakukan analisis nilai rata-rata (*mean*) terhadap setiap variabel penelitian. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui tingkat pengaruh masing-masing faktor terhadap terjadinya *defect* pada pekerjaan struktur beton bertulang. Hasil analisis nilai rata-rata pada setiap variabel disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9 Rekapitulasi Peringkat Faktor Penyebab *Defect*

Variabel	Mean	Peringkat
X1 Sumber Daya Manusia	12,83	1
X2 Metode Pelaksanaan	12,42	2
X3 Pengawasan	12,38	3
X4 Alat dan Material	12,33	4

Berdasarkan hasil analisis nilai rata-rata, setiap variabel memiliki tingkat pengaruh yang berbeda terhadap terjadinya *defect* pada pekerjaan struktur beton bertulang. Berdasarkan hasil tersebut, selanjutnya dianalisis indikator dengan nilai rata-rata tertinggi pada setiap variabel untuk mengidentifikasi penyebab *defect* yang paling dominan.

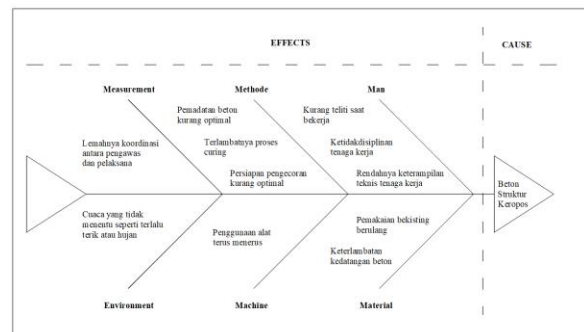
Berdasarkan Tabel 10, indikator paling dominan penyebab *defect* berasal dari faktor sumber daya manusia (X1), yaitu ketidakteletian atau kurangnya kedisiplinan dalam pelaksanaan pekerjaan dengan nilai *mean* sebesar 3,375. Hasil tersebut selanjutnya dianalisis menggunakan Diagram *Fishbone*.

Tabel 10 Rekapitulasi Peringkat Indikator Penyebab *Defect*

Variabel	Indikator	Mean	Peringkat
X1 Sumber Daya Manusia	Ketidakteletian atau kurangnya kedisiplinan dalam pelaksanaan pekerjaan	3,375	1
X2 Pelaksanaan	Kesalahan dalam urutan atau tahapan pelaksanaan pekerjaan struktur beton bertulang.	3,083	2
X3 Pengawasan	Lemahnya koordinasi antara pengawas dan pelaksana proyek.	3,041	3
X4 Material dan Alat	Kondisi peralatan kerja yang kurang layak atau sering mengalami kerusakan.	2,666	4

Analisis Akar Penyebab *Defect* Menggunakan Diagram *Fishbone* (*Analyze*)

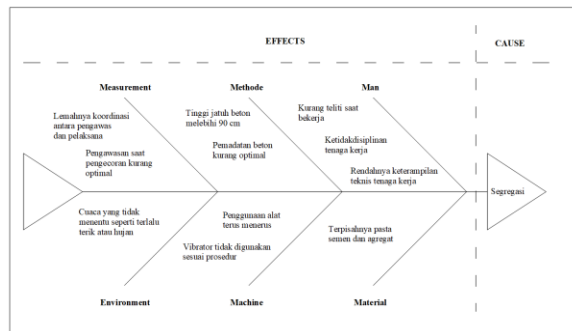
Untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai penyebab terjadinya *defect*, selanjutnya dilakukan analisis menggunakan Diagram *Fishbone* pada setiap jenis *defect* yang teridentifikasi. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi akar penyebab masing-masing *defect* berdasarkan enam kategori penyebab (*Man, Method, Material, Machine, Measurement, dan Environment*) sebagai dasar dalam penyusunan usulan perbaikan (Hati et al., 2025).



Gambar 6 Diagram *Fishbone* Jenis *Defect* Keropos

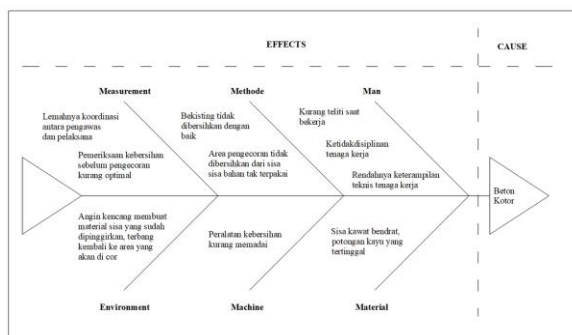
Berdasarkan Diagram *Fishbone* gambar 6, *defect* beton keropos dipengaruhi oleh proses pemadatan beton yang kurang optimal, penggunaan bekisting secara berulang, serta koordinasi antara pengawas dan pelaksana yang belum berjalan dengan baik. Kondisi

tersebut dapat menurunkan kualitas hasil pengecoran dan meningkatkan risiko terjadinya beton keropos.



Gambar 7 Diagram Fishbone Jenis Defect Segregasi

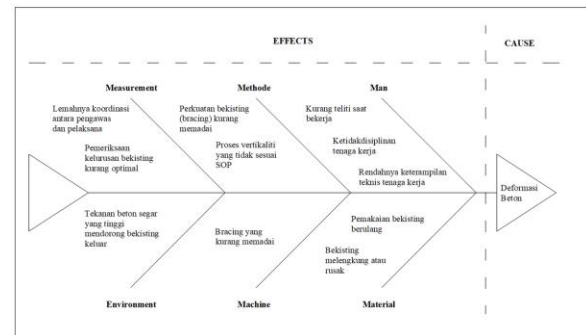
Berdasarkan Diagram *Fishbone* gambar 7, *defect* beton segregasi dipicu oleh tinggi jatuh beton yang melebihi 90 cm, pemadatan beton yang kurang optimal, penggunaan vibrator yang tidak sesuai prosedur, serta terpisahnya pasta semen dan agregat pada beton segar. Kondisi tersebut meningkatkan risiko terjadinya segregasi pada elemen struktur.



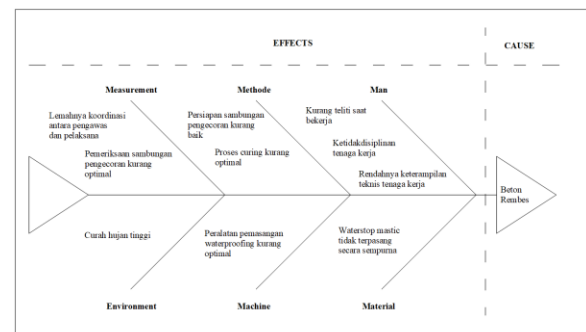
Gambar 8 Diagram Fishbone Jenis Defect Beton Kotor

Berdasarkan Diagram *Fishbone* gambar 8, *defect* beton kotor dipengaruhi oleh masih adanya sisa material pada bekisting, terbawanya material ke dalam bekisting akibat angin kencang, serta pemeriksaan kebersihan bekisting yang kurang optimal sebelum proses pengecoran. Kondisi tersebut meningkatkan risiko permukaan beton menjadi kotor setelah bekisting dibongkar.

Berdasarkan Diagram *Fishbone* gambar 9, *defect* deformasi dipengaruhi oleh pemasangan *bracing* yang kurang memadai, pemeriksaan vertikalitas yang tidak sesuai *SOP*, tekanan beton segar yang tinggi, serta penggunaan bekisting yang melengkung sehingga dimensi dan bentuk elemen struktur tidak sesuai spesifikasi.

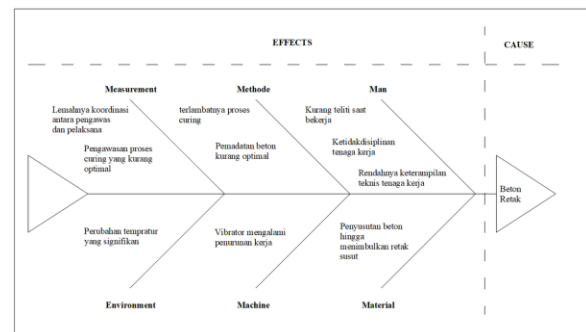


Gambar 9 Diagram Fishbone Jenis Defect Deformasi



Gambar 10 Diagram Fishbone Jenis Defect Rembes

Berdasarkan Diagram *Fishbone* gambar 10, *defect* rembes dipengaruhi oleh proses *curing* yang kurang optimal, curah hujan yang tinggi selama pelaksanaan pekerjaan, serta pemasangan *waterstop mastic* yang tidak tepat. Kondisi tersebut dapat meningkatkan potensi terjadinya kebocoran pada elemen struktur beton.



Gambar 11 Diagram Fishbone Jenis Defect Retak

Berdasarkan Diagram *Fishbone* gambar 11, *defect* retak dipengaruhi oleh *curing* yang kurang optimal, proses pemadatan yang tidak maksimal, perubahan temperatur, serta penyusutan beton (*shrinkage*) yang memicu terjadinya *shrinkage crack*. Faktor-faktor

tersebut berkontribusi terhadap terbentuknya retak pada struktur beton.

Usulan Tindakan Perbaikan untuk Mengurangi Defect (Improve)

Tahap *Improve* dilakukan untuk menyusun usulan tindakan perbaikan guna mengurangi potensi terjadinya *defect* pada pekerjaan struktur beton bertulang (Pratiwi et al., 2021). Usulan tersebut disusun berdasarkan hasil analisis Diagram *Fishbone* dan hasil wawancara bersama pihak *Quality Control (QC)* proyek. Selanjutnya, usulan perbaikan untuk setiap jenis *defect* disajikan pada Tabel 11 sampai Tabel 16.

Tabel 11 Usulan Tindakan Perbaikan Defect Keropos

Variabel	Dasar Analisis	Usulan Tindakan
X1 Sumber Daya Manusia	Pekerja belum konsisten menerapkan <i>SOP</i> pemadatan beton.	Melaksanakan <i>refreshment training</i> mengenai teknik pemadatan beton.
X2 Metode Pelaksanaan	Pemadatan beton kurang optimal akibat penggunaan <i>concrete vibrator</i> yang tidak sesuai metode kerja.	Memastikan penggunaan <i>concrete vibrator</i> sesuai metode kerja dan melakukan pengawasan selama proses pemadatan.
X3 Pengawasan	Pengawasan saat pemadatan beton belum optimal.	Menetapkan kehadiran pengawas pada tahapan kritis pengecoran, khususnya selama proses pemadatan beton menggunakan <i>concrete vibrator</i> dan penempatan tremi.
X4 Material dan Alat	Penggunaan bekisting secara berulang dan keterlambatan kedatangan beton berpotensi menurunkan kualitas hasil pengecoran.	Melakukan inspeksi kondisi bekisting sebelum digunakan kembali serta memastikan jadwal pengiriman beton sesuai dengan rencana pengecoran.

Berdasarkan usulan tindakan perbaikan, upaya peningkatan kualitas pada *defect* beton keropos difokuskan pada perbaikan metode pelaksanaan, peningkatan kompetensi tenaga kerja, penguatan pengawasan, serta pemeriksaan material dan peralatan sebelum pelaksanaan pekerjaan. Implementasi tindakan tersebut diharapkan dapat meminimalkan potensi terjadinya *defect* beton keropos. Selanjutnya,

usulan tindakan perbaikan untuk *defect* beton segregasi disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12 Usulan Tindakan Perbaikan Defect Segregasi

Variabel	Dasar Analisis	Usulan Tindakan
X1 Sumber Daya Manusia	Hasil observasi menunjukkan tenaga kerja belum menerapkan prosedur pengecoran secara konsisten sehingga meningkatkan risiko terjadinya segregasi.	Melaksanakan <i>refreshment training</i> mengenai teknik pengecoran dan pemadatan beton serta meningkatkan kedisiplinan dalam pelaksanaan pekerjaan.
X2 Metode Pelaksanaan	Data NCR menunjukkan <i>defect</i> segregasi dipengaruhi oleh tinggi jatuh beton yang melebihi 90 cm serta proses pemadatan menggunakan <i>concrete vibrator</i> yang belum sesuai prosedur.	Melaksanakan <i>refreshment training</i> mengenai metode pengecoran sesuai <i>SOP</i> , meliputi pengaturan tinggi jatuh beton dan penggunaan <i>concrete vibrator</i> yang benar.
X3 Pengawasan	Pengawasan selama proses pengecoran belum optimal, khususnya pada pengendalian tinggi jatuh beton dan proses pemadatan.	Meningkatkan pengawasan pada tahap pengecoran untuk memastikan tinggi jatuh beton dan proses pemadatan sesuai dengan metode kerja yang telah ditetapkan.
X4 Material dan Alat	Kondisi campuran beton yang kehilangan homogenitas serta penggunaan <i>concrete vibrator</i> secara terus-menerus berpotensi meningkatkan risiko terjadinya segregasi.	Memastikan kondisi beton tetap homogen sebelum pengecoran serta melakukan pemeriksaan kelayakan <i>concrete vibrator</i> secara berkala sebelum digunakan.

Berdasarkan usulan tindakan perbaikan, pencegahan *defect* beton segregasi difokuskan pada pengendalian proses pengecoran, khususnya pengaturan tinggi jatuh beton, pemadatan menggunakan *concrete vibrator*, serta pengawasan selama pelaksanaan pekerjaan. Selanjutnya, usulan tindakan perbaikan untuk *defect* beton kotor disajikan pada Tabel 13.

Tabel 13 Usulan Tindakan Perbaikan *Defect* Beton Kotor

Variabel	Dasar Analisis	Usulan Tindakan
X1 Sumber Daya Manusia	Tenaga kerja belum melaksanakan prosedur <i>cleaning</i> secara konsisten sehingga masih ditemukan sisa material pada bekisting.	Menerapkan <i>self inspection</i> oleh tenaga kerja setelah proses <i>cleaning</i> sebelum melanjutkan ke tahapan pekerjaan berikutnya.
X2 Metode Pelaksanaan	Hasil observasi menunjukkan proses <i>cleaning</i> area kerja dan bekisting sebelum pengecoran belum dilakukan secara optimal sehingga masih terdapat sisa material dan kotoran pada bekisting.	Memberikan <i>briefing</i> kepada tenaga kerja mengenai prosedur <i>cleaning</i> area kerja dan bekisting serta memastikan proses <i>cleaning</i> dilakukan sebelum pengecoran.
X3 Pengawasan	Pengawasan terhadap kebersihan area kerja dan bekisting sebelum pengecoran belum dilakukan secara optimal.	Meningkatkan pengawasan melalui pemeriksaan kebersihan bekisting sebelum proses pengecoran dilaksanakan.
X4 Material dan Alat	Masih terdapat sisa material pada bekisting serta material yang terbawa angin ke dalam bekisting sebelum pengecoran.	Memastikan bekisting dalam kondisi bersih sebelum pengecoran dan melakukan pembersihan ulang apabila ditemukan sisa material atau kotoran.

Berdasarkan usulan tindakan perbaikan, upaya pencegahan *defect* beton kotor difokuskan pada optimalisasi proses *cleaning*, pemeriksaan kebersihan bekisting, serta peningkatan pengawasan sebelum pengecoran. Selanjutnya, usulan tindakan perbaikan untuk *defect* deformasi disajikan pada Tabel 14.

Tabel 14 Usulan Tindakan Perbaikan *Defect* Deformasi Beton

Variabel	Dasar Analisis	Usulan Tindakan
X1 Sumber Daya Manusia	Hasil observasi menunjukkan tenaga kerja belum melaksanakan pemeriksaan bekisting secara teliti sebelum pengecoran sehingga masih ditemukan pergeseran bekisting.	Mendorong tenaga kerja melakukan pemeriksaan ulang hasil pemasangan bekisting sebelum pekerjaan dilanjutkan ke tahap pengecoran.

X2 Metode Pelaksanaan	Data menunjukkan deformasi dipengaruhi pemasangan bekisting yang kurang sesuai prosedur, seperti kekencahan <i>tie rod</i> yang tidak merata, <i>bracing</i> yang kurang memadai, serta pergeseran bekisting sebelum pengecoran.	NCR <i>defect</i> oleh pemeriksaan ulang terhadap kekencangan <i>tie rod</i> , <i>bracing</i> , dan posisi bekisting sebelum pengecoran untuk memastikan bekisting tetap stabil.
X3 Pengawasan	Pengawasan terhadap pemasangan dan pemeriksaan bekisting sebelum pengecoran belum dilakukan secara optimal.	Meningkatkan pengawasan pada proses pemasangan bekisting dan memastikan pemeriksaan vertikalitas dilakukan sesuai <i>SOP</i> sebelum pengecoran.
X4 Material dan Alat	Penggunaan bekisting yang telah melengkung dan komponen penyangga yang kurang layak berpotensi menyebabkan perubahan bentuk elemen struktur.	Memastikan seluruh komponen bekisting, <i>tie rod</i> , dan <i>bracing</i> berada dalam kondisi layak pakai serta mengganti komponen yang mengalami kerusakan atau deformasi.

Berdasarkan usulan tindakan perbaikan, pencegahan *defect* deformasi difokuskan pada pemeriksaan kestabilan bekisting sebelum pengecoran, peningkatan ketelitian tenaga kerja, serta penguatan pengawasan selama proses pemasangan bekisting. Implementasi tindakan tersebut diharapkan dapat menjaga dimensi dan bentuk elemen struktur sesuai dengan spesifikasi yang direncanakan. Selanjutnya, usulan tindakan perbaikan untuk *defect* retak disajikan pada Tabel 15.

Tabel 15 Usulan Tindakan Perbaikan *Defect* Beton Retak

Variabel	Dasar Analisis	Usulan Tindakan
X1 Sumber Daya Manusia	Hasil observasi menunjukkan tenaga kerja belum melaksanakan <i>curing</i> dan pemasangan sambungan cor secara konsisten sesuai <i>SOP</i> .	Memberikan pembinaan dan evaluasi kepada tenaga kerja terkait pelaksanaan <i>curing</i> serta pemasangan sambungan cor sesuai <i>SOP</i> untuk meningkatkan ketelitian dan kedisiplinan dalam bekerja.

X2 Metode Pelaksanaan	Data NCR menunjukkan <i>defect</i> retak dipengaruhi oleh pelaksanaan <i>curing</i> yang terlambat serta pemasangan sambungan cor dan waterproofing yang belum sesuai prosedur.	Menggunakan penanda waktu (<i>tagging</i>) pada area yang telah selesai dicor sebagai pengingat jadwal pelaksanaan <i>curing</i> serta pemasangan sambungan cor dan <i>waterproofing</i> sesuai metode kerja yang telah ditetapkan.	menyebabkan rembes.
X3 Pengawasan	Pengawasan terhadap pelaksanaan <i>curing</i> dan pemasangan sambungan cor belum berjalan secara optimal sehingga masih ditemukan ketidaksesuaian selama pelaksanaan pekerjaan.	Meningkatkan pengawasan terhadap pelaksanaan <i>curing</i> sesuai jadwal serta pemeriksaan pemasangan sambungan cor dan <i>waterproofing</i> sebelum pekerjaan dilanjutkan ke tahapan berikutnya.	Melakukan pemeriksaan menyeluruh terhadap sambungan bekisting, titik pertemuan antar panel, dan area rawan celah sebelum pengecoran serta memastikan pemasangan bekisting sesuai prosedur kerja.
X4 Material dan Alat	Perubahan temperatur dan penyusutan beton (<i>shrinkage</i>) berpotensi meningkatkan risiko terbentuknya retak apabila proses <i>curing</i> tidak dilakukan secara optimal.	Memastikan ketersediaan peralatan dan material pendukung <i>curing</i> serta menjaga kelembapan permukaan beton selama masa perawatan untuk meminimalkan terjadinya retak susut (<i>shrinkage crack</i>).	Melakukan pemeriksaan bersama antara pengawas dan pelaksana terhadap sambungan bekisting sebelum pengecoran guna memastikan tidak terdapat celah yang berpotensi menyebabkan rembes.
X2 Metode Pelaksanaan	Data NCR menunjukkan <i>defect</i> rembes dipengaruhi oleh sambungan bekisting yang kurang rapat serta pengecekan area pengecoran yang belum dilakukan secara optimal sebelum pelaksanaan pekerjaan.		
X3 Pengawasan	Pengawasan terhadap pemasangan dan pemeriksaan sambungan bekisting sebelum pengecoran belum dilakukan secara menyeluruh.		
X4 Material dan Alat	Pemasangan <i>waterstop mastic</i> yang kurang tepat dapat menyebabkan sambungan beton tidak kedap air sehingga meningkatkan risiko terjadinya rembes.		

Berdasarkan usulan tindakan perbaikan, pencegahan *defect* retak difokuskan pada pelaksanaan *curing* yang tepat waktu, penerapan metode kerja sesuai *SOP*, serta peningkatan pengawasan selama proses perawatan beton. Implementasi tindakan tersebut diharapkan dapat mengurangi potensi terbentuknya retak pada elemen struktur beton. Selanjutnya, usulan tindakan perbaikan untuk *defect* retak disajikan pada Tabel 16.

Tabel 16 Usulan Tindakan Perbaikan *Defect* Beton Rembes

Variabel	Dasar Analisis	Usulan Tindakan
X1 Sumber Daya Manusia	Hasil observasi menunjukkan tenaga kerja belum teliti dalam memastikan kerapatan sambungan bekisting sehingga masih ditemukan celah yang berpotensi	Menerapkan sistem rotasi tenaga kerja pada pekerjaan pemasangan bekisting untuk menjaga fokus dan ketelitian, khususnya pada area sambungan yang berpotensi mengalami rembes.

Berdasarkan usulan tindakan perbaikan, pencegahan *defect* rembes difokuskan pada peningkatan kualitas pemasangan dan pemeriksaan sambungan bekisting, penggunaan material kedap air sesuai spesifikasi, serta penguatan pengawasan sebelum pengecoran. Selain itu, terdapat usulan tindakan perbaikan yang bersifat umum untuk mencegah lebih dari satu jenis *defect*. Usulan tersebut disusun berdasarkan hasil analisis akar penyebab dan wawancara dengan pihak *Quality Control (QC)* proyek, sebagaimana disajikan pada Tabel 17.

Tabel 17 Tindakan Perbaikan yang Berdampak pada Beberapa Jenis *Defect*

Tindakan Pencegahan	Jenis <i>Defect</i> yang Dicegah
Memastikan bekisting terpasang rapat dan tidak memiliki celah agar pasta semen tidak keluar selama proses pengecoran.	Keropos dan rembes

Memastikan bekisting dalam kondisi bersih dari sisa potongan kayu, kawat, maupun material lain yang dapat mengganggu kualitas beton.

Melakukan proses pemadatan beton menggunakan *concrete vibrator* sesuai prosedur agar beton menjadi padat dan tidak terbentuk rongga.

Mengontrol tinggi jatuh beton saat pengecoran agar tidak melebihi 90 cm untuk mencegah pemisahan agregat.

Memastikan ketersediaan tenaga kerja dan peralatan sebelum pengecoran dimulai guna menghindari penghentian proses pengecoran.

Melaksanakan pengecoran pada waktu yang lebih optimal, seperti malam hari atau saat cuaca tidak terlalu terik, untuk mengurangi laju penguapan air selama proses pengerasan beton.

Melakukan pemeriksaan vertikalitas bekisting pada keempat sisi serta memastikan *bracing* bekisting terpasang dengan baik sebelum pengecoran.

Beton kotor dan keropos

Keropos, segregasi, retak dan rembes

Segregasi dan keropos

Keropos, rembes dan retak

Keropos, retak dan rembes

Deformasi

sebagai dasar pengambilan keputusan. Informasi tersebut dapat diakses oleh personel proyek sesuai dengan hak akses masing-masing tanpa mengubah kewenangan dalam pengelolaan data *NCR*.



Gambar 12 Model Konseptual Dashboard Monitoring Mutu berbasis *NCR*

Dashboard monitoring mutu yang diusulkan terdiri atas beberapa menu utama, yaitu:

1. Home, menampilkan ringkasan kondisi mutu proyek secara *real-time* yang meliputi jumlah *defect*, jumlah *NCR* yang masih terbuka (*open*) dan telah ditutup (*closed*), nilai *sigma*, diagram Pareto, tren temuan *defect*, distribusi *defect* berdasarkan elemen struktur, serta riwayat *NCR* terbaru.
2. Activity, digunakan sebagai media pencatatan aktivitas pengendalian mutu, meliputi input *NCR*, pelaksanaan *toolbox meeting* mutu, jadwal *refreshment training*, serta notulensi rapat evaluasi mutu. Informasi tersebut berfungsi sebagai dokumentasi pelaksanaan tindakan perbaikan yang telah direkomendasikan pada tahap *Improve*.
3. Report, berisi laporan *NCR* internal dan *NCR* eksternal sebagai dokumentasi ketidaksesuaian yang terjadi selama pelaksanaan proyek.
4. Master, digunakan untuk mengelola data dasar sistem, meliputi identitas perusahaan dan identitas proyek yang menjadi acuan dalam pelaksanaan monitoring mutu. Data tersebut berfungsi sebagai informasi dasar yang akan ditampilkan pada setiap laporan maupun *dashboard* sehingga seluruh data monitoring terdokumentasi sesuai dengan proyek yang sedang berjalan.

Melalui *dashboard* tersebut, personel proyek dapat memantau kondisi mutu, mengetahui *defect*

Usulan Tindakan Pengendalian untuk Meminimalkan *Defect* (*Control*)

Tahap *Control* bertujuan untuk memastikan usulan tindakan perbaikan pada tahap *Improve* dapat diterapkan secara konsisten sehingga potensi terjadinya *defect* pada pekerjaan struktur beton bertulang dapat diminimalkan (Zheng, 2024). Berdasarkan hasil analisis *NonConformance Report* (*NCR*), hasil kuesioner, diagram *fishbone*, serta observasi selama kegiatan magang, penulis mengusulkan pengembangan *Quality Monitoring System* (*QMS*) berupa *dashboard* monitoring mutu berbasis *NonConformance Report* (*NCR*). *Dashboard* ini diharapkan menjadi media monitoring dan evaluasi yang dapat membantu personel proyek dalam mengendalikan mutu pekerjaan secara berkelanjutan sesuai dengan prinsip *Six Sigma*.

Berbeda dengan sistem *NCR* yang hanya berfungsi sebagai media pencatatan ketidaksesuaian, *dashboard* yang diusulkan menyajikan informasi mutu secara lebih komprehensif sehingga dapat dimanfaatkan

dominan, mengevaluasi nilai *sigma*, serta memastikan pelaksanaan *toolbox meeting*, *refreshment training*, dan tindak lanjut *NCR*. Dengan demikian, *dashboard* tidak hanya berfungsi sebagai media pelaporan, tetapi juga sebagai sarana monitoring, evaluasi, dan pengambilan keputusan berbasis data untuk mendukung peningkatan mutu pekerjaan struktur beton bertulang sesuai prinsip *Six Sigma*.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis nilai rata-rata, variabel sumber daya manusia (X1) merupakan faktor yang paling dominan memengaruhi terjadinya *defect* dengan nilai rata-rata sebesar 12,83. Indikator yang paling dominan adalah ketidaktepatan dan ketidaksihonestan tenaga kerja dengan nilai rata-rata sebesar 3,375, diikuti oleh kesalahan urutan atau tahapan pelaksanaan pekerjaan pada variabel metode pelaksanaan (X2) sebesar 3,083, lemahnya koordinasi antara pengawas dan pelaksana pada variabel pengawasan (X3) sebesar 3,041, serta kondisi peralatan kerja yang kurang layak pada variabel material dan peralatan (X4) sebesar 2,666.

Hasil analisis *NonConformance Report (NCR)* menunjukkan bahwa *defect* keropos merupakan *defect* yang paling dominan pada seluruh elemen struktur. Pada kolom, *defect* keropos mencapai 80 *defect* dari 665 unit kolom (48,78%), pada pelat mencapai 91 *defect* dari 1.121 *section* pelat (43,54%), dan pada dinding struktur mencapai 8 *defect* dari 66 *section* (40%).

Hasil perhitungan tingkat *sigma* menunjukkan bahwa *defect* keropos memiliki performa kualitas terendah dibandingkan *defect* lainnya, dengan nilai *sigma* sebesar 2,76 pada kolom, 2,90 pada pelat, dan 2,67 pada dinding struktur. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *defect* keropos menjadi prioritas utama dalam upaya peningkatan kualitas pekerjaan struktur beton bertulang.

Berdasarkan tahapan *Improve*, usulan peningkatan mutu difokuskan pada peningkatan kompetensi tenaga kerja, penerapan metode kerja sesuai *SOP*, penguatan pengawasan, serta pemeriksaan material dan peralatan sesuai faktor penyebab *defect*. Selanjutnya, pada tahap *Control* diusulkan pengembangan *Quality Monitoring System* berbasis *Non Conformance Report (NCR)* sebagai media monitoring dan evaluasi mutu yang menyajikan informasi jumlah *defect*, nilai *sigma*,

Diagram Pareto, tren *defect*, aktivitas pengendalian mutu, serta laporan *NCR*. *Dashboard* tersebut diharapkan dapat mendukung pengambilan keputusan berbasis data dan memastikan penerapan tindakan perbaikan secara konsisten untuk meningkatkan kualitas pekerjaan struktur beton bertulang.

REFERENSI

- Ananda, R., & Mulyani, E. (2021). Analisis Keterlambatan Dan Kualitas Hasil Pekerjaan Pada Proyek Konstruksi Gedung. *JeLAST: Jurnal Teknik Kelautan, PWK, Sipil Dan Tambang*, 8.
- Deore Akshay, S., & A. Konnur, B. (2020). Causes, Impacts and Mitigations of *Rework* in Construction. *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, 3(8).
- Dody Sirait, M., Saidatuningtyas, I., Dhea Tisane Ardhan, dan, Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, P., Teknik Mesin, J., Negeri Jakarta, P., & A Siwabessy, J. G. (2025). Implementasi Metode *Six Sigma Dmaic* Pada Proses Produksi Untuk Mengurangi Jumlah Reject Produk End Rear Axle Housing di PT XYZ. *Prosiding B Seminar Nasional Teknik Mesin*, 1939–1945. <http://prosiding.pnj.ac.id>
- Ghafiki, K., Kissi, B., & Aaya, H. (2023). Systemic Quality Management Process in Construction Projects. *Journal of Current Science and Research Review*, 1(1), 18–32. <https://jcsrr.org/index.php/jcsrr>
- Ghozali, I. (2021). *Aplikasi Analisis Multivariate: dengan Program IBM SPSS 26* (10th ed.). Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Hati, R. M., Anggi, P., Suwandi, P., & Kristiawan, A. (2025). International Journal of Sustainable Building, Infrastructure, and Environment *Six Sigma-DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, And Control) Analysis in Reducing Building Structural Defects (Case Study: Emirates Indonesia Cardiology Hospital Project)*. *International Journal of Sustainable Building, Infrastructure, and Environment*.
- Kłosowska, J., Sznajder, D., Antosz-Rekucka, R., Tuleja, A., & Prochwicz, K. (2023). Reliability, Validity and Factor Structure of the Polish Version of the Massachusetts General Hospital

- Hair Pulling Scale. *Cognitive Therapy and Research*, 48(1), 4–17.
<https://doi.org/10.1007/s10608-023-10428-y>
- Novita Ramadhona, A., Agung Handoyo, F., Nor Fatimah, A., Siti Nadira, N., & Aulia, A. (2025). Analisis Pengendalian Kualitas Susu Kambing Bubuk Menggunakan Pareto dan *Fishbone* Di Indo Natural Farm Indo Natural Farm's Goat Milk Powder: Quality Control Analysis Using Pareto And *Fishbone*. *Jurnal Teknologi Argo Industri*, 12(1).
- Pratiwi, R., Mustakim, & Sucilanti, L. (2021). Pengendalian Kualitas Pada Corrugated Concrete Sheet Pile Dengan Metode Six Sigma. *Jurnal Transukma*, 3.
- Putri, N. N., Suardika, N., & Ardika, I. W. (2024). Analisis Cacat Konstruksi Dengan Metode Six Sigma Pada Pekerjaan Struktur Bangunan. *Seminar Nasional Keteknipsipilan Bidang Vokasi Xii*, 3.
- Rahayu, I. S., Purba, H. H., & Susetyo, B. (2023). Peningkatan Kualitas Menggunakan Pendekatan Lean Six Sigma Untuk Konstruksi Gedung Di Indonesia. *Konstruksia*, 14(2), 73.
<https://doi.org/10.24853/jk.14.2.73-82>
- Singh, P., Rohila, D., Khursheed, S., & Kumar Paul, V. (2022). Evaluation of Rework Cost and Prevention Cost of Rework in Building Construction. *International Journal of Sustainable Building Technology*, 5(1).
<https://doi.org/10.37628/IJSBT>
- Sugiyono. (2023). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*
- Yip, C. C., Wong, J. Y., Amran, M., Fediuk, R., & Vatin, N. I. (2022). Reliability Analysis of Reinforced Concrete Structure with Shock Absorber Damper under Pseudo-Dynamic Loads. *Materials*, 15(7).
<https://doi.org/10.3390/ma15072688>
- Zheng, D. (2024). The Application of Six Sigma Management Theory in Service Industry. *International Journal of Global Economics and Management*, 4(1), 275–280.
<https://doi.org/10.62051/ijgem.v4n1.36>