

## Implementasi Cost of Quality Pekerjaan Bekisting Konvensional dan Semi Sistem Studi Kasus Proyek Embung KIPP Lanjutan dan DAS Pemaluan

Mukhamad Subkhi\*, Ervina Ahyudanari

Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

Email: [mukhamadsubkhi@gmail.com](mailto:mukhamadsubkhi@gmail.com)\*

---

### Abstrak

Industri konstruksi Indonesia menghadapi tantangan dalam mempertahankan kualitas sambil mengoptimalkan biaya, khususnya dalam pemilihan metode bekisting yang sangat mempengaruhi kualitas struktur beton dan efisiensi proyek secara keseluruhan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis implementasi Cost of Quality (COQ) pada pekerjaan bekisting konvensional dan semi sistem dalam proyek Embung KIPP Lanjutan dan DAS Pemaluan. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif komparatif dengan analisis COQ yang mencakup biaya pencegahan, penilaian, kegagalan internal, dan kegagalan eksternal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa COQ bekisting konvensional sebesar 87,14% didominasi oleh kegagalan internal (43,54%) karena rentan terhadap kesalahan pemasangan dan kerusakan material. Sedangkan COQ bekisting semi sistem sebesar 21,77% dengan distribusi yang lebih seimbang antara biaya pencegahan (44,04%) dan kegagalan internal (15,62%). Perencanaan teknis menunjukkan bekisting konvensional memerlukan jarak penyangga 170mm, penyangga horizontal 810mm, dan penopang 690mm, sedangkan semi sistem memerlukan 250mm, 900mm, dan 1065mm. Meskipun biaya material bekisting konvensional lebih murah 63% dari semi sistem, namun total biaya kualitas yang tinggi membuat semi sistem lebih efisien secara keseluruhan dengan performa yang lebih konsisten dan risiko pengerjaan ulang yang minimal.

**Kata Kunci:** bekisting konvensional, bekisting semi sistem, cost of quality, konstruksi, kualitas

---

### Abstract

*Indonesia's construction industry faces challenges in maintaining quality while optimizing costs, especially in the selection of formwork methods that greatly affect the quality of concrete structures and overall project efficiency. This study aims to analyze the implementation of Cost of Quality (COQ) in conventional and semi-system formwork for the KIPP Continuation Dam and DAS Pemaluan project. The research method uses a comparative quantitative approach with COQ analysis covering prevention, appraisal, internal failure, and external failure costs. Results show that conventional formwork COQ is 87.14%, dominated by internal failures (43.54%) due to vulnerability to installation errors and material damage. Meanwhile, semi-system formwork COQ is 21.77% with a more balanced distribution between prevention costs (44.04%) and internal failures (15.62%). Technical planning shows conventional formwork requires support spacing of 170mm, horizontal supports 810mm, and braces 690mm, while semi-system requires 250mm, 900mm, and 1065mm respectively. Although conventional formwork material costs are 63% cheaper than semi-system, the high total quality costs make semi-system more efficient overall with more consistent performance and minimal rework risks.*

---

**Keywords:** *conventional formwork, semi-system formwork, cost of quality, construction, quality*

---

## PENDAHULUAN

Industri konstruksi Indonesia menghadapi tantangan besar dalam mempertahankan kualitas sambil mengoptimalkan biaya proyek (Masgode et al., 2024). Pemilihan metode bekisting yang tepat menjadi faktor krusial yang mempengaruhi kualitas akhir struktur beton dan efisiensi biaya keseluruhan proyek (Adyatmaka & Efendi, 2022). Bekisting berfungsi sebagai cetakan sementara yang menahan beban selama beton dituang dan dibentuk sesuai dengan bentuk yang diinginkan (Santoso, 2021).

Proyek Embung KIPP Lanjutan dan Daerah Aliran Sungai (DAS) Pemaluan merupakan infrastruktur strategis yang memerlukan standar kualitas tinggi dalam pelaksanaannya. Pada praktiknya, penggunaan bekisting konvensional menunjukkan terjadinya lendutan yang cukup signifikan, sehingga berdampak pada ketidaksesuaian hasil pengecoran dengan standar mutu, khususnya pada dinding pelimpah, dan akhirnya membutuhkan pekerjaan perbaikan tambahan (Zhang, Li, & Sun, 2022). Lendutan yang berlebihan tidak hanya mengurangi ketepatan dimensi, tetapi juga memunculkan cacat permukaan seperti *honeycombing* dan ketidakraturan *alignment* (Kim & Park, 2020). Penelitian yang membandingkan sistem bekisting kayu, baja, dan komposit menunjukkan bahwa bekisting dengan kekakuan lebih tinggi dapat secara signifikan mengurangi lendutan serta meningkatkan kualitas permukaan beton hasil pengecoran (Patel, Shah, & Mehta, 2021). Selain itu, penerapan sistem pemantauan lendutan bekisting selama proses pengecoran terbukti mampu menjaga toleransi dalam batas yang ditetapkan dan mencegah penyimpangan hasil pengecoran (Liu et al., 2019). Oleh karena itu, untuk memastikan bahwa konstruksi hidrolik kritis seperti embung dapat memenuhi spesifikasi desain dan persyaratan durabilitas, perlu diterapkan penggunaan bekisting dengan kekakuan struktural yang lebih tinggi yang dikombinasikan dengan strategi pemantauan secara real-time (Greco, Foti, & Russo, 2023).

Cost of Quality (COQ) adalah metode untuk menghitung biaya yang dikeluarkan untuk memastikan produk memenuhi standar kualitas, serta biaya produksi barang yang tidak memenuhi standar (Feigenbaum, 2004). Pendekatan COQ mengklasifikasikan biaya menjadi empat kategori: biaya pencegahan, biaya penilaian, biaya kegagalan internal, dan biaya kegagalan eksternal (Juran & Godfrey, 1999 ; Girsang, 2023).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pemilihan jenis bekisting yang tepat dapat mengurangi biaya total proyek secara signifikan (Sirait et al., 2023). Studi komparatif antara bekisting konvensional dan sistem modern menunjukkan efisiensi yang berbeda dalam hal biaya dan kualitas (Maulana et al., 2024). Namun, belum ada penelitian yang secara komprehensif menganalisis implementasi COQ pada perbandingan bekisting konvensional

dan semi sistem. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan kebaruan melalui analisis implementasi Cost of Quality pada perbandingan bekisting konvensional dan semi sistem, yang belum pernah dilakukan secara komprehensif pada proyek infrastruktur di Indonesia.

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis implementasi Cost of Quality pada pekerjaan bekisting konvensional dan semi sistem, merancang perencanaan teknis kedua sistem sesuai standar, serta mengevaluasi kelayakan ekonomi berdasarkan total biaya kualitas. Manfaat penelitian ini adalah memberikan panduan praktis bagi praktisi konstruksi dalam pemilihan sistem bekisting yang optimal, menyediakan basis data empiris untuk pengambilan keputusan strategis dalam manajemen proyek konstruksi, serta berkontribusi pada pengembangan standar kualitas konstruksi di Indonesia yang lebih efektif dan efisien.

## **METODE PENELITIAN**

### **Lokasi dan Objek Penelitian**

Penelitian dilakukan pada proyek Embung KIPP Lanjutan dan DAS Pemaluan dengan fokus pada pekerjaan bekisting dinding pelimpah. Objek penelitian adalah perbandingan antara bekisting konvensional menggunakan material kayu dan plywood dengan bekisting semi sistem menggunakan kombinasi plat baja dan hollow steel.

### **Desain Penelitian**

Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif komparatif untuk menganalisis dan membandingkan biaya kualitas dari dua metode bekisting. Variabel yang dianalisis meliputi biaya material, biaya pencegahan, biaya penilaian, biaya kegagalan internal, dan biaya kegagalan eksternal.

### **Pengumpulan Data**

Data primer diperoleh melalui observasi lapangan, dokumentasi pelaksanaan proyek, dan wawancara dengan pelaksana proyek. Data sekunder meliputi gambar teknis, spesifikasi material, analisa harga satuan pekerjaan, dan standar operasional prosedur pelaksanaan bekisting.

### **Analisis Cost of Quality**

Implementasi COQ dilakukan dengan menghitung empat komponen biaya:

1. Prevention Costs (Biaya Pencegahan): Meliputi biaya perencanaan dan desain, pelatihan tenaga kerja, kualifikasi pemasok, dan audit internal.
2. Appraisal Costs (Biaya Penilaian): Mencakup biaya inspeksi material, inspeksi proses, inspeksi akhir, dan pengujian kualitas material.
3. Internal Failure Costs (Biaya Kegagalan Internal): Terdiri dari biaya pengerjaan ulang, material terbuang (scrap), dan penurunan efisiensi.
4. External Failure Costs (Biaya Kegagalan Eksternal): Meliputi biaya jaminan pemeliharaan dan dampak terhadap reputasi.

### **Perencanaan Teknis Bekisting**

Perencanaan teknis dilakukan berdasarkan tiga komponen utama:

1. Desain Beban (Load Design): Menentukan tekanan hidrostatik, beban bekisting, dan beban pekerja dengan rumus:  $P = \gamma \times h \times g$  Dimana  $P$  = tekanan hidrostatik,  $\gamma$  = berat jenis beton,  $h$  = tinggi pengecoran,  $g$  = percepatan gravitasi.
2. Desain Papan (Sheating Design): Menghitung jarak maksimum antar penyangga berdasarkan:
  - a. Cek terhadap bending:  $l = 3.16(FbKS/\omega)^{1/2}$
  - b. Cek terhadap geser:  $l = 1.67(FsLb/Q)/\omega + 2d$
  - c. Cek terhadap lendutan:  $l = (73.8/1000) \times (EI/\omega)^{1/3}$
3. Desain Rangka (Frame Design): Analisis struktural elemen horizontal bekisting untuk menentukan bentang minimum.

#### Analisis Ekonomi

Evaluasi ekonomi dilakukan dengan membandingkan total biaya material, biaya operasional, dan biaya kualitas antara kedua sistem bekisting. Analisis mencakup perhitungan Life Cycle Cost (LCC) dan Return on Investment (ROI).

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Analisis Cost of Quality Pekerjaan Bekisting

Implementasi *Cost of Quality* (COQ) pada pekerjaan bekisting dinding pelimpah proyek Embung KIPP Lanjutan menunjukkan perbedaan signifikan antara sistem konvensional dan semi sistem. Analisis COQ dilakukan dengan mengklasifikasikan biaya ke dalam empat kategori utama sesuai dengan model PAF (*Prevention, Appraisal, Failure*) yang dikembangkan oleh Feigenbaum.

#### Prevention Costs (Biaya Pencegahan)

Biaya pencegahan merupakan investasi proaktif untuk mencegah terjadinya cacat dan masalah kualitas sejak awal. Hasil analisis menunjukkan total biaya pencegahan sebesar Rp 16.919.600 yang terdiri dari empat komponen utama.

**Tabel 1. Rincian Biaya Pencegahan**

<b>Komponen</b>	<b>Biaya (Rp)</b>	<b>Persentase</b>
Perencanaan & Desain	6.500.000	38,42%
Pelatihan dan Pendidikan	7.500.000	44,33%
Kualifikasi Pemasok	1.272.300	7,52%
Audit Internal	1.647.300	9,74%
<b>Total</b>	<b>16.919.600</b>	<b>100%</b>

Komponen terbesar dalam biaya pencegahan adalah pelatihan dan pendidikan (44,33%) yang mencakup pelatihan untuk pelaksana, site operational manager, mandor, pekerja, dan quality control. Investasi pada pelatihan ini sangat krusial mengingat kompleksitas pemasangan bekisting yang memerlukan keahlian teknis spesifik.

Biaya perencanaan dan desain (38,42%) meliputi honorarium tenaga ahli struktur sebesar Rp 5.000.000 untuk perencanaan desain bekisting dan job mix design K350 sebesar Rp 1.500.000 untuk spesifikasi teknis beton. Investasi ini fundamental dalam memastikan kesesuaian desain dengan kebutuhan teknis proyek.

#### **Appraisal Costs (Biaya Penilaian)**

Biaya penilaian mencakup seluruh aktivitas inspeksi dan pengujian untuk memverifikasi kesesuaian dengan standar kualitas. Total biaya penilaian sebesar Rp 4.175.100 dengan rincian pada Tabel 2.

**Tabel 2. Rincian Biaya Penilaian**

<b>Komponen</b>	<b>Biaya (Rp)</b>	<b>Persentase</b>
Inspeksi Material Datang	375.100	8,99%
Inspeksi Proses	2.197.300	52,61%
Inspeksi Akhir	1.462.700	35,03%
Uji Kuat Tekan Beton dan Kayu	140.000	3,35%
<b>Total</b>	<b>4.175.100</b>	<b>100%</b>

Inspeksi proses mendominasi biaya penilaian (52,61%) karena melibatkan pemeriksaan berkelanjutan selama pemasangan bekisting. Aktivitas ini mencakup verifikasi dimensi, kelurusan, ketinggian, kekuatan, dan sambungan antar bekisting yang dilakukan oleh quality control, quality manager, pelaksana, dan site operational manager.

#### **Internal Failure Costs (Biaya Kegagalan Internal)**

Biaya kegagalan internal menunjukkan perbedaan drastis antara kedua sistem bekisting. Untuk bekisting konvensional, biaya ini mencapai Rp 25.000.000, sedangkan semi sistem hanya Rp 6.000.000.

**Tabel 3. Perbandingan Biaya Kegagalan Internal**

<b>Komponen</b>	<b>Konvensional (Rp)</b>	<b>Semi Sistem (Rp)</b>
Bobok Beton (10 m <sup>2</sup> )	1.500.000	-
Finishing (10 m <sup>2</sup> )	3.500.000	-
Repair Permukaan Beton (40 m <sup>2</sup> )	14.000.000	2.000.000
Material Bekisting Terbuang	6.000.000	4.000.000
<b>Total</b>	<b>25.000.000</b>	<b>6.000.000</b>

Tingginya biaya kegagalan internal pada bekisting konvensional disebabkan oleh beberapa faktor teknis:

1. Perubahan Spesifikasi Material: Ketebalan bekisting yang semula direncanakan 19mm berubah menjadi 12mm menyebabkan penurunan kekakuan dan peningkatan risiko lendutan.
2. Kurangnya Vibrator Eksternal: Tidak dilakukannya vibrator luar mengakibatkan beberapa lokasi memiliki permukaan beton yang kurang halus dan memerlukan perbaikan.

3. Jeda Pengecoran Berlebihan: Jeda beton yang terlalu lama menyebabkan *cold joint* yang berdampak pada kualitas permukaan beton.

#### External Failure Costs (Biaya Kegagalan Eksternal)

Biaya kegagalan eksternal untuk kedua sistem sebesar Rp 11.328.000 yang terdiri dari jaminan pemeliharaan bekisting. Selain biaya terukur ini, terdapat *hidden costs* berupa keluhan pelanggan, kompensasi, kerugian reputasi, dan potensi biaya hukum yang sulit dikuantifikasi namun memiliki dampak jangka panjang signifikan.

#### Total Cost of Quality

Perbandingan total COQ antara kedua sistem menunjukkan perbedaan fundamental dalam filosofi pengelolaan kualitas.

**Tabel 4. Perbandingan Total Cost of Quality**

Kategori Biaya	Konvensional		Semi Sistem	
	Biaya (Rp)	%	Biaya (Rp)	%
Prevention Costs	16.919.600	29,47%	16.919.600	44,04%
Appraisal Costs	4.175.100	7,27%	4.175.100	10,87%
Internal Failure Costs	25.000.000	43,54%	6.000.000	15,62%
External Failure Costs	11.328.000	19,73%	11.328.000	29,48%
<b>Total COQ</b>	<b>57.422.700</b>	<b>100%</b>	<b>38.422.700</b>	<b>100%</b>

#### Perhitungan Teknis Perkuatan Bekisting

Perencanaan bekisting dilakukan berdasarkan tiga tahapan utama: desain beban, desain papan (*sheating design*), dan desain rangka (*frame design*). Perhitungan menggunakan standar *American Concrete Institute* dan referensi *Formwork for Concrete Structures* oleh Peurifoy dan Oberlender.

#### Desain Beban (Load Design)

Perhitungan beban total menggunakan rumus tekanan hidrostatik:

$$P = \gamma \times h \times g \quad (1)$$

Dimana:

- P = tekanan hidrostatik (Pa)
  - $\gamma$  = berat jenis beton bertulang = 2.500 kg/m<sup>3</sup>
  - h = tinggi pengecoran = 0,5 m
  - g = percepatan gravitasi = 9,8 m/s<sup>2</sup>
- Sehingga:  $P = 2.500 \times 0,5 \times 9,8 = 12.250 \text{ Pa} = 12,25 \text{ kPa}$

**Tabel 5. Komponen Total Beban Desain**

Jenis Beban	Nilai (kPa)	Keterangan
Tekanan Hidrostatik	12,25	Tekanan lateral beton cair
Beban Bekisting	0,24	Berat sistem bekisting
Beban Orang + Peralatan	2,4	Beban pekerja dan peralatan
<b>Total Beban Desain</b>	<b>14,89</b>	<b>Beban total untuk perhitungan</b>

Namun, untuk tinggi dinding pelimpah 2,4 m, total beban desain yang digunakan adalah 61,56 kPa.

### Desain Papan (Sheating Design)

Perhitungan jarak maksimum antar penyangga dilakukan dengan tiga kriteria pemeriksaan:

#### 1. Pemeriksaan Bending (Lentur)

$$l = 3,16 \times (F_b K S / \omega)^{1/2} \quad (2)$$

#### 2. Pemeriksaan Shear (Geser)

$$l = 1,67 \times (F_s L_b / Q) / \omega + 2d \quad (3)$$

#### 3. Pemeriksaan Deflection (Lendutan)

$$l = (73,8 / 1000) \times (E I / \omega)^{1/3} \quad (4)$$

**Tabel 6. Hasil Perhitungan Jarak Penyangga Vertikal**

Kriteria	Konvensional		Semi Sistem	
	Across (mm)	Parallel (mm)	Across (mm)	Parallel (mm)
Bending Check	190	177	287	-
Shear Check	253	179	9.250	-
Deflection Check	251	182	159	-
<b>Jarak Digunakan</b>	<b>177</b>		<b>159</b>	

Dari perhitungan ini, jarak penyangga terkecil yang digunakan adalah 177 mm untuk konvensional dan 159 mm untuk semi sistem, kemudian dibulatkan menjadi 180 mm dan 160 mm.

### Desain Rangka (Frame Design)

Perhitungan penyangga horizontal menggunakan beban yang telah didistribusikan dari jarak penyangga vertikal:

$$\text{Beban terdistribusi} = (\text{Jarak penyangga} / 1000) \times \text{Total beban} \quad (5)$$

Untuk konvensional:  $(180 / 1000) \times 61,56 = 11,08$  kPa  
Untuk semi sistem:  $(160 / 1000) \times 61,56 = 9,85$  kPa

**Tabel 7. Spesifikasi Material Penyangga**

Parameter	Konvensional	Semi Sistem
Material Utama	Kayu 50×70 mm	Hollow Steel 50×50 mm
Section Modulus	40.833,33 mm <sup>3</sup>	-
Allowable Stress	9.807 kPa	430.000 kPa
Modulus Elasticity	9.806.650 kPa	200×10 <sup>6</sup> kPa
Inertia	1.429.167 mm <sup>4</sup>	141.000 mm <sup>4</sup>

Hasil perhitungan menunjukkan jarak penyangga horizontal untuk konvensional adalah 810 mm dan semi sistem 900 mm. Untuk penopang penyangga, jarak yang digunakan adalah 690 mm (konvensional) dan 1.065 mm (semi sistem).

### Perhitungan Kebutuhan Material

Berdasarkan zonasi pengecoran yang dibagi menjadi tiga zona (Zona 1: 168 m<sup>2</sup>, Zona 2: 172 m<sup>2</sup>, Zona 3: 184 m<sup>2</sup>), total luas bekisting adalah 524 m<sup>2</sup>.

**Tabel 8. Kebutuhan Material Bekisting Konvensional**

Material	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Total (Rp)
Multiplex 18mm	Lembar	90	300.160	27.014.400
Kayu 50×50 mm	m <sup>3</sup>	4,44	2.650.000	11.752.750
Kayu 50×70 mm	m <sup>3</sup>	4,02	2.650.000	10.647.700
Kayu 50×100 mm	m <sup>3</sup>	2,22	2.650.000	5.883.000
Minyak Bekisting	Liter	160	25.000	4.000.000
Paku	Kg	264	25.000	6.600.000
<b>Total</b>				<b>65.897.850</b>

**Tabel 9. Kebutuhan Material Bekisting Semi Sistem**

Material	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Total (Rp)
Plat Besi	Lembar	90	801.000	72.090.000
Hollow 50×50 mm	Batang	423	207.000	87.561.000
Hollow 50×100 mm	Batang	37	300.000	11.100.000
Tie Rod + Wingnut	Set	27	179.200	4.838.400
Minyak Bekisting	Liter	160	25.000	4.000.000
<b>Total</b>				<b>179.589.400</b>

### Analisis Performa Sistem Bekisting

Evaluasi performa kedua sistem bekisting dilakukan berdasarkan kriteria *Acceptable Quality Level* (AQL) dan hasil implementasi lapangan.

**Tabel 10. Analisis Performa Sistem**

Kriteria	Konvensional	Semi Sistem
Presisi Dimensi	±10 mm	±3 mm
Kecepatan Pemasangan	8 jam/modul	4 jam/modul
Kemampuan Reuse	2-3 kali	>10 kali
Permukaan Beton	Fair finish	Good finish
Maintenance Required	Tinggi	Rendah

### Analisis Total Biaya Sistem

Perbandingan total biaya menunjukkan perspektif yang berbeda ketika COQ dipertimbangkan dalam evaluasi ekonomi.

**Tabel 11. Perbandingan Total Biaya Sistem**

Komponen Biaya	Konvensional (Rp)	Semi Sistem (Rp)	Selisih
Biaya Material	65.897.850	179.589.400	+172,6%
Cost of Quality	57.422.700	38.422.700	-33,1%
<b>Total Biaya</b>	<b>123.320.550</b>	<b>218.012.100</b>	<b>+76,8%</b>

COQ Percentage	87,14%	21,40%	-65,7%
----------------	--------	--------	--------

Meskipun biaya total semi sistem masih lebih tinggi 76,8%, namun persentase COQ yang jauh lebih rendah (21,40% vs 87,14%) menunjukkan efisiensi kualitas yang signifikan.

### **Faktor-Faktor Kritis dalam Implementasi COQ**

Bekisting Konvensional:

1. Variabilitas Material: Kayu sebagai bahan organik memiliki variasi kualitas alami yang mempengaruhi konsistensi performa.
2. Ketergantungan Skill Pekerja: Sistem konvensional sangat bergantung pada keahlian tukang kayu yang berpengalaman.
3. Faktor Lingkungan: Kelembaban dan cuaca mempengaruhi dimensi dan kekuatan material kayu.
4. Kompleksitas Fabrikasi: Memerlukan waktu fabrikasi yang lebih lama dan presisi manual yang tinggi.

Bekisting Semi Sistem:

1. Standardisasi Komponen: Komponen fabrikasi memberikan konsistensi dimensi dan kualitas.
2. Kemudahan Pemasangan: Sistem modular mengurangi risiko human error dalam pemasangan.
3. Durabilitas Material: Material baja tahan terhadap kondisi lingkungan dan penggunaan berulang.
4. Efisiensi Waktu: Pemasangan dan pembongkaran yang lebih cepat mengurangi biaya tenaga kerja.

### **Analisis Sensitivitas COQ**

Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa perubahan 10% pada biaya kegagalan internal memberikan dampak berbeda pada total COQ:

- Konvensional: Perubahan 4,35% pada total COQ
- Semi Sistem: Perubahan 1,56% pada total COQ

Hal ini menunjukkan bekisting semi sistem lebih stabil terhadap variasi biaya kegagalan.

### **Strategi Optimisasi COQ**

Berdasarkan hasil analisis, strategi optimisasi COQ meliputi:

1. Investasi Pencegahan: Meningkatkan alokasi budget untuk perencanaan, pelatihan, dan sistem kualitas.
2. Teknologi Sistem: Adopsi bekisting semi sistem untuk proyek dengan skala dan kompleksitas tinggi.
3. Monitoring Berkelanjutan: Implementasi sistem monitoring COQ real-time untuk deteksi dini masalah kualitas.
4. Standardisasi Proses: Pengembangan SOP yang ketat untuk semua tahapan pekerjaan bekisting.

### **Validasi Hasil dengan Standar Industri**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase COQ bekisting konvensional (87,14%) berada di atas rekomendasi *American Society for*

*Quality* yang menyorankan 15-20% dari biaya produksi. Sebaliknya, bekisting semi sistem (21,40%) berada dalam rentang yang dapat diterima industri.

Perbandingan dengan penelitian sejenis menunjukkan konsistensi hasil, dimana sistem bekisting modern umumnya memiliki COQ 20-30% lebih rendah dibandingkan sistem konvensional.

#### **Dukungan Penelitian Terdahulu dan Teori Relevan**

Hasil penelitian ini sejalan dengan teori Cost of Quality yang dikembangkan oleh Feigenbaum (2004) yang menyatakan bahwa investasi pada biaya pencegahan dapat mengurangi biaya kegagalan secara signifikan. Crosby (1979) dalam konsep "Quality is Free" menegaskan bahwa biaya untuk mencapai kualitas yang tinggi akan lebih rendah dibandingkan biaya yang dikeluarkan akibat kualitas yang buruk, yang terbukti dalam penelitian ini dimana bekisting semi sistem dengan investasi pencegahan yang lebih tinggi menghasilkan total COQ yang lebih rendah.

Penelitian oleh Wiguna dan Sujana (2023) menunjukkan hasil serupa bahwa sistem bekisting modern memiliki efisiensi biaya 15-25% lebih baik dibandingkan sistem konvensional ketika mempertimbangkan total life cycle cost. Temuan Arumsari dan Xavier (2020) juga mendukung hasil penelitian ini, dimana analisis biaya dan waktu menunjukkan bahwa meskipun investasi awal sistem bekisting modern lebih tinggi, namun total biaya proyek menjadi lebih efisien karena pengurangan rework dan peningkatan kualitas.

Gaddam dan Achuthan (2020) dalam studi komparatif sistem bekisting menekankan bahwa faktor kualitas permukaan beton dan presisi dimensi menjadi pertimbangan utama dalam pemilihan sistem bekisting, yang konsisten dengan temuan penelitian ini dimana bekisting semi sistem menghasilkan presisi dimensi  $\pm 3\text{mm}$  dibandingkan  $\pm 10\text{mm}$  pada sistem konvensional.

#### **KESIMPULAN**

Penelitian ini berhasil menganalisis Implementasi Cost of Quality pada pekerjaan bekisting menunjukkan perbedaan signifikan antara sistem konvensional dan semi sistem. Bekisting konvensional memiliki COQ 87,14% dengan dominasi biaya kegagalan internal, sedangkan semi sistem memiliki COQ 21,77% dengan distribusi biaya yang lebih seimbang. Meskipun biaya material bekisting konvensional 63% lebih murah, total biaya kualitas yang tinggi membuat semi sistem lebih efisien secara keseluruhan. Perencanaan teknis menunjukkan bekisting semi sistem memiliki jarak penyangga yang lebih besar, mengindikasikan efisiensi material yang lebih baik. Untuk proyek-proyek konstruksi masa depan, disarankan memprioritaskan penggunaan bekisting semi sistem untuk mencapai kualitas yang konsisten, mengurangi risiko pengerjaan ulang, dan mengoptimalkan total biaya proyek melalui investasi pencegahan yang efektif.

## REFERENSI

- Adyatmaka, A., & Efendi, M. (2022). Perbandingan antara pekerjaan bekisting knock down dengan bekisting climbing system pada pembangunan proyek pintu air di wilayah Demangan, Kota Surakarta. *Jurnal Konstruksi*, 3(4), 1–15.
- American Concrete Institute. (2014). *Guide to formwork for concrete (ACI 347R-14)*. ACI.
- Arumsari, P., & Xavier, C. (2020). Cost and time analysis on the selection of formwork installation method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 426(1), 1–8.
- Crosby, P. B. (1979). *Quality is free: The art of making quality certain*. McGraw-Hill.
- Feigenbaum, A. V. (2004). *Total quality control* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Gaddam, M. S., & Achuthan, A. (2020). A comparative study on newly emerging type of formwork systems with conventional type of form work systems. *Materials Today: Proceedings*, 33, 736–740.
- Girsang, H. (2023). Analisis penggunaan bekisting konvensional, baja dan sistim peri dari segi biaya pada struktur pier konstruksi ramp on/off jalan tol. *Jurnal Teknik Sipil*, 12, 1–20.
- Greco, S., Foti, D., & Russo, S. (2023). Innovative formwork solutions for critical hydraulic infrastructures: Stiffness optimization and casting accuracy. *Journal of Hydraulic Engineering*, 149(1), 04022068. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0002057](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0002057)
- Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1999). *Juran's quality handbook* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Kim, S., & Park, C. (2020). Deflection behavior of formwork under concrete pressure and its influence on surface tolerances. *Engineering Structures*, 223, 111227. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111227>
- Liu, X., Chen, Y., Wang, J., & Zhao, L. (2019). Monitoring system for detecting formwork displacement in real time during concrete casting. *Automation in Construction*, 107, 102931. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102931>
- Masgode, M. B., Hidayat, A., Laksmi, I. A. C. V., Triatmika, I. N. A., Puspayana, I. P. A. I., Iskandar, A. A., Syarif, M., Rachman, R. M., Herlambang, A. R., & Dirgantara, A. (2024). *Dinamika Industri Konstruksi di Indonesia*. Tohar Media.
- Maulana, B. F., Ratnasari, S. A., & Setiawan, A. (2024). Analisa perbandingan bekisting semi sistem (knockdown) dengan bekisting konvensional berdasarkan RAB. *Jurnal Konstruksi Teknik Sipil*, 5(2), 45–58.
- Patel, M., Shah, K., & Mehta, S. (2021). Comparative analysis of formwork systems for high-deformation resistance and surface quality in RCC structures. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 35(5), 04021123. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001669](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001669)

- Peurifoy, R. L., & Oberlender, G. D. (2002). *Formwork for concrete structures* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Santoso, S. (2021). Hubungan antara tingkat risiko kecelakaan konstruksi dengan tinggi lantai pembangunan gedung pada pengangkatan, pemasangan dan pembongkaran bekisting aluminium. *Jurnal Keselamatan Konstruksi*, 8(3), 112–125.
- Sirait, E. G., Wardani, P. C., & Taufik, Y. A. (2023). Perbandingan penggunaan sistem bekisting konvensional dan aluminium pada proyek pembangunan Mall X. *Jurnal Manajemen Konstruksi*, 15(2), 78–92.
- Wiguna, A. D., & Sujana, C. M. (2023). Comparisonal analysis of formwork costs conventional, semi-system and aluminium on shear wall work. *E3S Web of Conferences*, 426, 1–12.
- Zhang, H., Li, J., & Sun, Y. (2022). Effects of formwork deflection on concrete surface quality in hydraulic structure casting. *Construction and Building Materials*, 315, 125593.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125593>