

Analisis Potensi Kerugian Proyek Akibat Kerusakan Beton Pasca Cor: Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung X 9 Lantai di Sukoharjo

Syakir Maghfuri^{1*}, Aninditia Galih Putra Herlambang², Alfia Magfirona³, Furqaan Harjanto³

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta
e-mail: sm797@ums.ac.id

ABSTRAK

Kerusakan beton pasca cor menjadi salah satu permasalahan yang sering ditemui pada pekerjaan konstruksi. Padahal kerusakan ini menimbulkan penambahan biaya perbaikan dan berpotensi menciptakan kerugian proyek. Penelitian ini bersifat deskriptif-kuantitatif dan berfokus pada mengidentifikasi dan menganalisis jenis kerusakan, kemungkinan penyebab, dan potensi kerugian akibat kerusakan beton pasca cor pada Proyek Pembangunan Gedung X 9 Lantai di Sukoharjo. Metode penelitian yang dilakukan dengan observasi lapangan pada lantai 1-5, pengukuran dimensi, mengidentifikasi jenis kerusakan pada beton pasca cor secara visual, kemudian analisis potensi kerugian dengan menghitung biaya perbaikan dengan metode *grouting* dengan *Sika Grout 125* dan *patching* mortar menggunakan *Sika Wall 181*. Hasil penelitian menunjukkan jenis kerusakan yang ditemukan meliputi *honeycomb*, retak halus, dan terkelupas pada elemen struktur seperti kolom, balok, dan pelat. Metode perbaikan yang diterapkan adalah *grouting* untuk kerusakan *honeycomb* serta *patching* mortar untuk retak halus dan terkelupas. Potensi kerugian proyek ditaksir mencapai Rp 1.059.499 hingga Rp 2.724.573 berdasarkan analisis jumlah biaya yang dikeluarkan untuk perbaikan kerusakan beton. Walaupun nilai potensi kerugian terlihat kecil dari total nilai proyek, namun temuan ini mengindikasikan kurang optimalnya pengawasan dan koordinasi lapangan pada saat proses pengecoran. Langkah preventif yang disarankan meliputi pemeriksaan prapengecoran meliputi prosedur dan kesiapan bekisting, pengendalian mutu material, pengawasan proses *curing* dan pelatihan teknis pekerja.

Kata kunci: beton pasca cor; *honeycomb*; *grouting*; *patching* mortar; kerugian proyek.

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk dan urbanisasi meningkatkan kebutuhan infrastruktur (Maghfuri, Murtiyasa, Sunarjono, & Hidayati, 2024). Pada zaman modern ini, pembangunan infrastruktur tidak lepas dari proses pengecoran menggunakan beton. Pengecoran beton pada elemen struktural Gedung (kolom, balok, dan pelat) menjadi salah satu kegiatan krusial pada pelaksanaan konstruksi gedung. Pengecoran harus dilakukan dengan teliti, sehingga tidak terjadi kerusakan pada beton (Maghfuri S., 2019). Masalah yang sering timbul akibat pelaksanaan yang kurang baik adalah cacat pada beton pasca pembongkaran bekisting, seperti permukaan yang tidak rata, keropos, muncul rongga (*honeycomb*), serta terkelupasnya selimut beton hingga tulangan terekspos (Neville, 1995; Kosmatka, Panarese, & Kerkhoff, 2002). Permasalahan ini bukan hanya mengurangi estetika visual namun juga berpotensi mengurangi kekuatan hingga menjadi permulaan korosi pada tulangan dan penurunan kepadatan lokal beton hingga 15 % jika dibiarkan dalam jangka waktu yang lama (Neville, 1995; Mehta & Monteiro, 2006; Huang, Liu, & Chen, 2021).

Penyebab kerusakan permukaan beton dapat terjadi akibat segregasi agregat, dimana agregat kasar terpisah dari pasta semen dan menciptakan rongga serta meningkatkan porositas beton, sehingga berpotensi mengurangi durabilitas (Kim, Park, & Cho, 2019). Namun yang sering ditemui di lapangan adalah rendahnya *workability* adukan, ketinggian jatuh beton, proses pemadatan tidak sempurna, serta bekisting tidak rapat dan rata hingga perawatan yang keliru (Wang & Zhang, 2020). Kesadaran yang rendah mengenai praktik pengecoran yang benar pada saat pelaksanaan konstruksi juga menjadi penyebab kerusakan permukaan beton. Selain itu, kesenjangan pemahaman dan latar belakang teknis pekerja dalam tahap perencanaan dan pelaksanaan konstruksi turut menentukan kualitas hasil pengecoran (Kuruppu, Nanthakumar, & Baskaran, 2022). Metode pencegahan yang bisa dilakukan antara lain menjatuhkan beton segar dengan ketinggian 3-4 ft (0,92-1,22 m), memaksimalkan pemadatan dengan prosedur yang tepat, pengecekan tulangan dan bekisting terpasang sebelum dicor, persetujuan pelepasan bekisting pasca cor dari kontraktor mempertimbangkan dokumen hasil uji kuat tekan beton, pengecekan beban berlebih oleh konsultan perencana, dan memastikan kesesuaian desain rencana (Winarto, 2020). Metode *grouting* menjadi salah satu alternatif yang digunakan dalam memperbaiki kerusakan permukaan beton pasca cor (Lee, Kwon, & Ahn, 2022; Zuo, Zhang, & Wang, 2019).

Proyek Pembangunan Gedung X dengan 9 lantai dimulai pada September 2024 dan direncanakan selesai pada Desember 2025. Penelitian ini berfokus pada kerusakan beton permukaan pasca pembukaan bekisting dan metode perbaikan yang dilakukan oleh kontraktor. Hasil observasi awal didapatkan komponen struktural seperti kolom, balok, dan pelat ditemukan kerusakan permukaan beton. Kerusakan yang ditemukan meliputi *honeycomb*, retak halus dan

terkelupas. Kerusakan beton kemudian dianalisis biaya perbaikan dan dijadikan pendekatan dalam menentukan kerugian proyek.

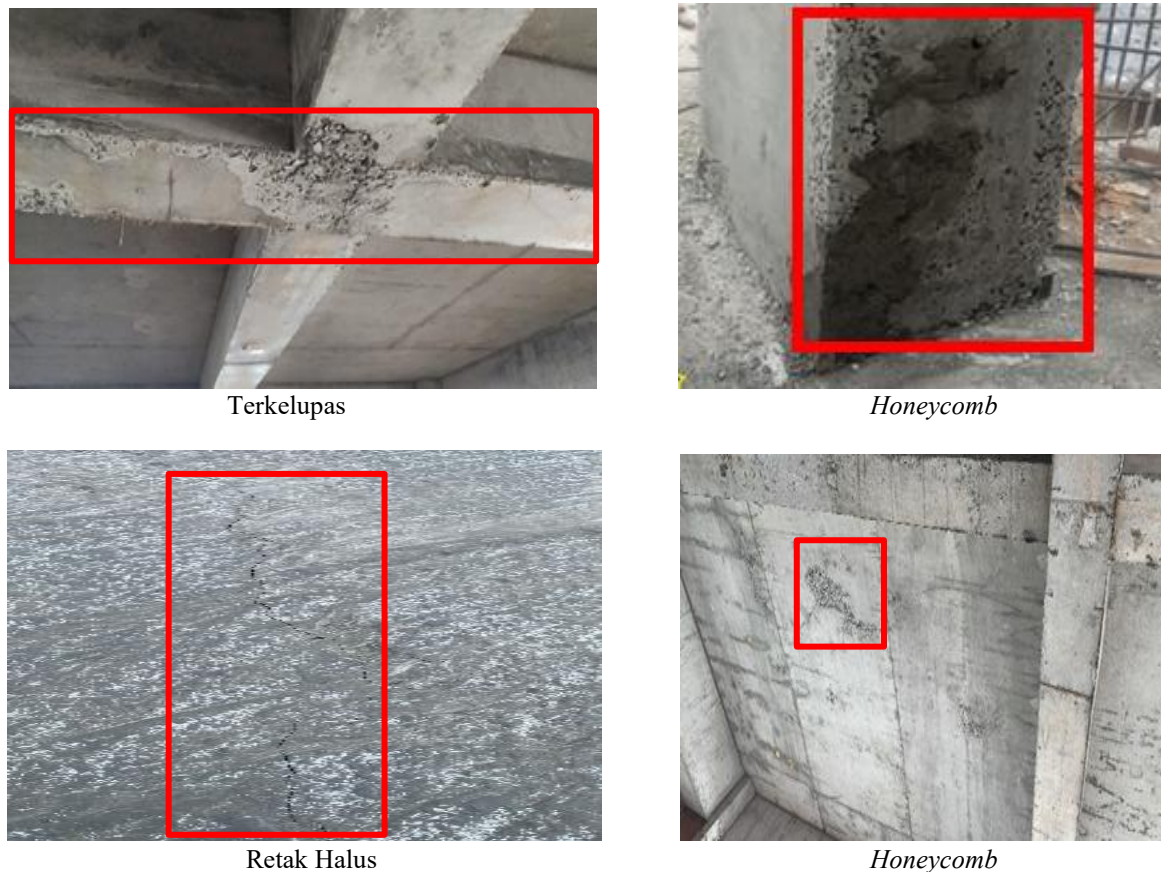
2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini bersifat deskriptif kuantitatif dalam mengidentifikasi jenis dan ukuran kerusakan serta potensi kerugian proyek akibat penambahan biaya perbaikan yang ditimbulkan. Penelitian dilakukan pada Proyek Pembangunan Gedung X 9 lantai di Sukoharjo. Pengambilan data dilakukan pada 8 Februari hingga 10 Maret 2025 melalui observasi lapangan pada elemen struktur bangunan meliputi kolom, balok, dan pelat. Identifikasi kerusakan didasarkan pada kondisi visual, didokumentasikan, dan diukur panjang, lebar, dan kedalaman untuk menentukan volume kerusakan. Hasil kerusakan kemudian diidentifikasi sesuai jenis dan pemilihan metode perbaikan didasarkan sesuai pelaksanaan di lapangan. Analisis harga satuan mengacu AHSP Kabupaten Sukoharjo. Analisis nilai kerugian dihitung dengan mengalikan volume atau luas kerusakan dengan AHSP pekerjaan perbaikan. Hasil analisis ditelaah dengan menyesuaikan temuan di lapangan pada saat pelaksanaan pekerjaan pengecoran.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pengambilan data dilaksanakan pada 8 Februari – 10 Maret 2025 pada Proyek Pembangunan Gedung X 9 Lantai di Sukoharjo. Observasi dilakukan pada kerusakan beton pasca cor elemen portal (kolom, balok, dan pelat) di lantai 1-5. Gambar 1 menampilkan hasil observasi kerusakan beton pasca cor pada Proyek Pembangunan Gedung X 9 Lantai di Sukoharjo.



Gambar 1 Kerusakan Beton Pasca Cor

Hasil observasi kemudian diidentifikasi, diklasifikasikan menurut jenis kerusakan, dan diukur dimensinya. Rekapitulasi hasil identifikasi kerusakan beton ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi hasil identifikasi kerusakan beton

Lantai	Komponen Struktur	Jenis Kerusakan	Letak	Ukuran (m)			Volume	Total	Satuan
				Panjang	Lebar	Kedalaman			
1	Kolom	Honeycomb	A11	0,550	0,400	0,010	0,002200	0,010000	m ³
			B12	0,600	0,400	0,020	0,004800		

Lantai	Komponen Struktur	Jenis Kerusakan	Letak	Ukuran (m)			Volume	Total	Satuan
				Panjang	Lebar	Kedalaman			
2	Balok	Honeycomb	C13	0,500	0,300	0,020	0,003000	0,003155	m³
			A4-5	0,450	0,250	0,010	0,001125		
			A5-6	0,500	0,250	0,010	0,001250		
			A12-13	0,300	0,200	0,010	0,000600		
			C11-12	0,350	0,020	0,010	0,000070		
			D11-12	0,550	0,020	0,010	0,000110		
		Terkelupas	C4-4	0,100	0,150		0,015000	0,015000	m²
	Pelat Lantai	Honeycomb	CD9-10	0,350	0,400	0,005	0,000700	0,000700	m³
	Kolom	Honeycomb	D13	0,300	0,300	0,020	0,001800	0,005600	m³
			D14	0,600	0,400	0,010	0,002400		
			D14	0,400	0,350	0,010	0,001400		
	Kolom	Retak Halus	A4	1,100	0,001		0,001100	0,007750	m²
			A3	1,000	0,001		0,001000		
			B3	0,900	0,001		0,000900		
			B3	0,650	0,001		0,000650		
			C3	1,000	0,001		0,001000		
C3			0,900	0,001		0,000900			
C4			1,000	0,001		0,001000			
D3			0,500	0,001		0,000500			
D3			0,700	0,001		0,000700			
3			Balok	Honeycomb	A15-16	0,450	0,050		
	BC2	0,600			0,300	0,020	0,003600		
	BC2	0,500			0,400	0,015	0,003000		
	CD7	0,500			0,500	0,010	0,002500		
	C11-12	0,450			0,300	0,010	0,001350		
	CD14	0,600			0,300	0,020	0,003600		
	Pelat Lantai	Retak Halus	AB1-2	2,500	0,001		0,002500	0,003900	m²
			BC1-2	1,400	0,001		0,001400		
4	Pelat Lantai	Retak Halus	AB4-5	0,500	0,001		0,000500	0,056500	m²
			AB8-9	6,900	0,001		0,006900		
			AB9-10	5,000	0,001		0,005000		
			AB9-10	5,500	0,001		0,005500		
			AB10-11	1,000	0,001		0,001000		
			AB11-12	5,000	0,001		0,005000		
			AB11-12	7,000	0,001		0,007000		
			AB12-13	5,000	0,001		0,005000		
			AB13-14	0,650	0,001		0,000650		
			AB14-15	1,750	0,001		0,001750		
			BC1-2	3,000	0,001		0,003000		
			BC2-3	0,300	0,001		0,000300		
			BC6-8	6,900	0,001		0,006900		
			BC11-12	0,800	0,001		0,000800		
			BC15-16	2,300	0,001		0,002300		
			BC16-17	4,500	0,001		0,004500		

Lantai	Komponen Struktur	Jenis Kerusakan	Letak	Ukuran (m)			Volume	Total	Satuan
				Panjang	Lebar	Kedalaman			
		<i>Honeycomb</i>	CD1-2	0,400	0,001		0,000400	0,012213	m ³
			AB4-5	0,600	0,500	0,005	0,001500		
			AB11-12	0,600	0,400	0,005	0,001200		
			AB14-15	0,150	0,300	0,005	0,000225		
			AB13-14	0,400	0,300	0,005	0,000600		
			BC13-14	0,450	0,400	0,005	0,000900		
			BC13-14	0,500	0,500	0,005	0,001250		
			BC14-15	0,350	0,350	0,005	0,000613		
			CD1-2	0,400	0,500	0,005	0,001000		
			CD11-12	0,400	0,400	0,005	0,000800		
			CD11-12	0,500	0,400	0,005	0,001000		
			CD13-14	0,500	0,400	0,005	0,001000		
			CD13-14	0,500	0,350	0,005	0,000875		
			CD15-16	0,500	0,500	0,005	0,001250		
5	Kolom	<i>Honeycomb</i>	B3	0,600	0,800	0,010	0,004800	0,004800	m ³

Data hasil identifikasi kerusakan selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan metode perbaikan. Penelitian ini menggunakan alternatif metode *grouting* untuk *honeycomb* serta metode *patching mortar* untuk kerusakan retak dan terkelupas. Penentuan metode perbaikan beton didasarkan pada ukuran kerusakan dan metode perbaikan yang dilakukan di proyek. Analisis kerugian proyek menggunakan pendekatan kebutuhan material dan tenaga yang digunakan dalam menangani kerusakan beton pasca cor. Analisis harga satuan mengacu pada AHSP Kabupaten Sukoharjo. Kebutuhan material dan tenaga disajikan dalam analisis harga satuan pekerjaan *grouting* dan acian yang disajikan dalam Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Analisa Harga Satuan Pekerjaan *Grouting*

NO	URAIAN	SATUAN	KOEFISIEN	HARGA SATUAN		JUMLAH HARGA		
A	TENAGA							
	Pekerja	OH	15,000	Rp	110.000	Rp	1.650.000	
	Tukang Cat	OH	15,000	Rp	150.000	Rp	2.250.000	
	Kepala Tukang	OH	7,000	Rp	175.000	Rp	1.225.000	
	Mandor	OH	7,000	Rp	175.000	Rp	1.225.000	
JUMLAH TENAGA KERJA						Rp	6.350.000	
B	Bahan							
	Air	ltr	301	Rp	1.500	Rp	451.500	
	Sika Grout 215	kg	1880	Rp	5.200	Rp	9.776.000	
JUMLAH HARGA BAHAN						Rp	10.227.500	
C	PERALATAN							
	Mesin Grouting	Ls	0,1	Rp	20.700.000	Rp	2.070.000	
JUMLAH HARGA BAHAN						Rp	2.070.000	
D	JUMLAH (A+B+C)						Rp	18.647.500
E	Overhead & Profit				11% x Jumlah		Rp	2.051.225
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)						Rp	20.698.725
G	Pembulatan						Rp	20.698.000

Tabel 3. Analisa Harga Satuan Pekerjaan *Patching Mortar* tebal 1,5 mm per m²

NO	URAIAN	SATUAN	KOEFISIEN	HARGA SATUAN	JUMLAH HARGA
A	TENAGA				
	Pekerja	OH	0,200	Rp 110.000	Rp 22.000
	Tukang batu	OH	0,100	Rp 130.000	Rp 13.000
	Kepala Tukang	OH	0,010	Rp 175.000	Rp 1.750
	Mandor	OH	0,010	Rp 175.000	Rp 1.750
JUMLAH TENAGA KERJA					Rp 38.500
B	Bahan				
	Air	ltr	3	Rp 1.500	Rp 4.500
	Sika Wall 181	kg	2	Rp 3.500	Rp 7.000
JUMLAH HARGA BAHAN					Rp 11.500
C	PERALATAN				
JUMLAH HARGA BAHAN					
D	JUMLAH (A+B+C)				Rp 50.000
E	Overhead & Profit			11% x Jumlah	Rp 5.500
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)				Rp 55.500
G	Pembulatan				Rp 55.000

NO	URAIAN	SATUAN	KOEFISIEN	HARGA SATUAN	JUMLAH HARGA
A	TENAGA				
	Pekerja	OH	15,000	Rp 110.000	Rp 1.650.000
	Tukang Cat	OH	15,000	Rp 150.000	Rp 2.250.000
	Kepala Tukang	OH	7,000	Rp 175.000	Rp 1.225.000
	Mandor	OH	7,000	Rp 175.000	Rp 1.225.000
JUMLAH TENAGA KERJA					Rp 6.350.000
B	Bahan				
	Air	ltr	301	Rp 1.500	Rp 451.500
	Sika Grout 215	kg	1880	Rp 5.200	Rp 9.776.000
JUMLAH HARGA BAHAN					Rp 10.227.500
C	PERALATAN				
	Mesin Grouting	Ls	0,1	Rp 20.700.000	Rp 2.070.000
JUMLAH HARGA BAHAN					Rp 2.070.000
D	JUMLAH (A+B+C)				Rp 18.647.500
E	Overhead & Profit			11% x Jumlah	Rp 2.051.225
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)				Rp 20.698.725
G	Pembulatan				Rp 20.698.000

Analisis potensi kerugian dihitung dengan mengalikan volume kerusakan dengan analisis harga satuan pekerjaan (AHSP). Volume kerusakan beton *honeycomb* dikalikan dengan AHSP *grouting*, kemudian volume kerusakan retak dan terkelupas dikali dengan AHSP *patching mortar*. Analisis potensi kerugian akibat kerusakan beton pasca cor ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Analisis potensi kerugian akibat kerusakan beton pasca cor

Lantai	Komponen Struktur	Jenis Kerusakan	Volume Total	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
1	Kolom	<i>Honeycomb</i>	0,010000	m ³	Rp 20.698.000	Rp 206.980
	Balok	<i>Honeycomb</i>	0,003155	m ³		Rp 65.302
2	Pelat Lantai	<i>Honeycomb</i>	0,000700	m ³	Rp 55.000	Rp 14.489
		Terkelupas	0,015000	m ²		Rp 825
	Kolom	<i>Honeycomb</i>	0,005600	m ³		Rp 115.909
3	Kolom	Retak Halus	0,007750	m ²	Rp 55.000	Rp 426
	Balok	<i>Honeycomb</i>	0,014500	m ³	Rp 20.698.000	Rp 300.121
	Pelat Lantai	Retak Halus	0,003900	m ²	Rp 55.000	Rp 215
4	Pelat Lantai	Retak Halus	0,056500	m ²	Rp 20.698.000	Rp 3.108
		<i>Honeycomb</i>	0,012213	m ³		Rp 252.774
5	Kolom	<i>Honeycomb</i>	0,004800	m ³		Rp 99.350
Total						Rp 1.059.499

Analisis pendekatan lain juga digunakan dengan melakukan survei di Sukoharjo. Penyedia menawarkan jasa grouting per titik dengan diameter kerusakan antara 30-60 cm menggunakan Sikadur 752 AHSP sebesar Rp 85.000. Tabel 5 menampilkan analisis potensi kerugian dengan skema menggunakan penyedia hasil survei.

Tabel 5. Analisis potensi kerugian akibat kerusakan beton pasca cor skema penyedia jasa

Lantai	Komponen Struktur	Jenis Kerusakan	Volume Total	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
1	Kolom	<i>Honeycomb</i>	3	titik	Rp 85.000	Rp 255.000
	Balok	<i>Honeycomb</i>	5	titik		Rp 425.000
2	Pelat Lantai	<i>Honeycomb</i>	1	titik	Rp 55.000	Rp 85.000
		Terkelupas	0,015000	m ²		Rp 825
	Kolom	<i>Honeycomb</i>	3	titik		Rp 255.000
3	Kolom	Retak Halus	0,007750	m ²	Rp 55.000	Rp 426
	Balok	<i>Honeycomb</i>	6	titik	Rp 85.000	Rp 510.000
	Pelat Lantai	Retak Halus	0,003900	m ²	Rp 55.000	Rp 215
4	Pelat Lantai	Retak Halus	0,056500	m ²	Rp 85.000	Rp 3.108
		<i>Honeycomb</i>	13	titik		Rp 1.105.000
5	Kolom	<i>Honeycomb</i>	1	titik		Rp 85.000
Total						Rp 2.724.573

Pembahasan

Hasil observasi kerusakan beton cor pasca cor pada Proyek Pembangunan Gedung X didominasi oleh honeycomb, retak halus, dan pengelupasan. Tabel 1 menunjukkan kerusakan beton masih terjadi pada elemen struktur utama (kolom, balok, dan pelat). Meskipun volume kerusakan relatif kecil, namun tetap berpotensi mengurangi kekuatan struktur bangunan. Indikasi kerusakan beton disebabkan oleh pemadatan beton dan pengawasan yang kurang optimal. Hasil observasi pada saat proses pengecoran masih ditemui pekerja yang kurang teliti dalam menggunakan *vibrator*. Namun, distribusi kerusakan menurun seiring bertambahnya lantai. Hal ini menunjukkan peningkatan fokus pekerja dan pengawasan pada saat pengecoran beton. Analisis potensi kerugian proyek akibat perbaikan kerusakan beton pasca cor berkisar antara Rp. 1.059.499 – Rp. 2.724.573. Nilai tersebut relatif kecil terhadap total nilai proyek, namun

tetap menunjukkan adanya pemborosan biaya. Kerugian lain seperti keterlambatan dan potensi penurunan mutu pekerjaan juga perlu diperhatikan. Pemeriksaan prapengecoran meliputi prosedur dan kesiapan bekisting, pengendalian mutu material, dan peningkatan pelatihan teknis pekerja menjadi langkah strategis dalam mengurangi kerusakan beton pasca cor serta meminimalkan kerugian proyek.

4. KESIMPULAN

Kerusakan beton pasca cor pada Proyek Pembangunan Gedung X 9 Lantai di Sukoharjo meliputi *honeycomb*, retak halus, dan pengelupasan. Potensi penyebabnya karena pemadatan beton dan pengawasan yang kurang optimal. Prosedur pengawasan yang baik dan ketelitian pekerja dalam menggunakan *vibrator* menjadi salah satu kunci dalam baiknya kualitas beton hasil pengecoran. Analisis potensi kerugian akibat kerusakan beton pasca cor berkisar antara Rp. 1.059.499 – Rp. 2.724.573, tergantung pada jasa yang digunakan. Meskipun nilai potensi kerugian relatif kecil terhadap total nilai proyek, kerugian ini mempresentasikan inefisiensi akibat kurang optimalnya pengawasan dan koordinasi lapangan. Kerugian lain seperti keterlambatan dan potensi penurunan mutu pekerjaan juga perlu dianalisis lebih lanjut. Langkah preventif yang bisa diterapkan berupa pemeriksaan prapengecoran, pengendalian mutu material, dan pelatihan teknis pekerja. Perlu identifikasi dan analisis lanjut kerusakan beton pasca cor pada semua lantai agar hasil potensi kerugian proyek lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA DAN PENULISAN PUSTAKA

- Huang, X., Liu, Y., & Chen, J. (2021). Effect of surface honeycomb defects on compressive behavior of reinforced concrete columns. *Construction and Building Materials*, 287, 122995.
- Kim, H., Park, J., & Cho, Y. (2019). Durability concerns of porous concrete surface due to improper compaction. *Materials*, 12(17), 2735.
- Kosmatka, S. H., Panarese, W. C., & Kerkhoff, B. (2002). *Design and control of concrete mixtures (Vol. 5420, pp. 60077-1083)*. Skokie, IL: Portland cement association.
- Kuruppu, K. A., Nanthakumar, M., & Baskaran, K. (2022). Study on Honeycombs in Structural Concrete Elements. *Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon)*, 1-6.
- Lee, J., Kwon, S., & Ahn, T. (2022). Performance of epoxy grouting and repair mortars for surface voids in concrete structures. *Materials and Structures*, 55(5), 113.
- Maghfuri, S. (2019). Perencanaan Struktur Gedung Apartemen 5 Lantai di Boyolali dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). *e-prints UMS*.
- Maghfuri, S., Murtiyasa, B., Sunarjono, S., & Hidayati, N. (2024). Perencanaan Infrastruktur Pengelolaan Sampah di Kampus Universitas Muhammadiyah Surakarta. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22 (2), 491-502.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2006). *Concrete microstructure, properties, and materials*. McGraw-hill.
- Neville, A. M. (1995). *Properties of concrete (Vol. 4, p. 1995)*. London: Longman.
- Wang, Y., & Zhang, L. (2020). Investigation of vibration and workability effects on concrete compaction quality. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(9), 04020272.
- Winarto, S. C. (2020). Analysis Causes damage and prevention of concrete. *Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1569, No. 4)* (p. 042031). Seattle: IOP Publishing.
- Zuo, X., Zhang, P., & Wang, Z. (2019). Site quality control and repair decision for early-stage defects in reinforced concrete structures. *Engineering Structures*, 198, 109462.