



ANALISA FORENSIK GEDUNG BAPPEDA KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA

Oleh

Hermansyah¹, Tukimun², Wahyu Mahendra³

^{1,2,3}Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945

Samarinda

Email: ¹udintambal79@gmail.com

Abstrak

Kondisi tersebut, maka perlu dilakukan kajian terkait keandalan gedung tersebut dengan cara dilakukan audit forensik, sehingga dapat memberikan informasi bahwa gedung tersebut masih memenuhi aspek keamanan, kenyamanan, kemudahan dan kesehatan. Untuk menggali data yang lebih komprehensif diperlukan kajian terkait audit forensik pada gedung tersebut yang nantinya akan dijadikan dasar dalam penilaian keandalan bangunan khususnya struktural dari gedung tersebut. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan perilaku kerusakan struktur gedung Bappeda Kabupaten Kutai Kartanegara berdasarkan data hasil analisa forensik dan mendapatkan rekomendasi metode perbaikan yang sesuai pada kerusakan struktur gedung Bappeda Kabupaten Kutai Kartanegara berdasarkan data hasil analisa forensik. Penelitian ini dilakukan melalui prosedur audit forensik struktur dengan beberapa tahapan. Pertama, dilakukan pengamatan visual terhadap elemen struktural, terutama yang menahan beban, untuk mengidentifikasi kerusakan seperti retak, keropos, lubang, atau pengelupasan. Hasil pengamatan digunakan untuk menggambarkan pola retak (crack pattern) pada elemen balok. Selanjutnya, gambar perencanaan digunakan sebagai pembanding karena dokumen as-built drawing tidak tersedia. Data geometri struktur diperoleh dari pengukuran langsung di lapangan menggunakan alat ukur total station untuk mengamati lendutan, dimensi elemen, dan deformasi struktural. hasil analisa dalam pembahasan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :Kondisi existing Gedung Bappeda Kabupaten Kutai Kartanegara tersebut secara visual sudah terdapat retakan pada dinding dan terjadi penurunan fondasi, hal ini mengakibatkan terjadi keretakan pada struktur dan lantai keramik. Oleh karena itu, perlu diadakan perbaikan, terutama pada area yang terjadi penurunan dan keretakan. Dari kajian aspek struktur dengan metode audit forensik, kondisi Gedung Bappeda Kabupaten Kutai Kartanegara secara keseluruhan mempunyai kondisi struktur yang tidak andal. Hal tersebut terlihat dari hasil pengujian dengan menggunakan UPVT, hammer test, rebar scanner serta pengamatan visual lapangan. Secara umum, kondisi ini dikarenakan terjadi penurunan pada pondasi sehingga struktur bangunan mengalami keretakan pada beberapa titik, sehingga perlu perbaikan dan perkuatan struktur tersebut.

Kata Kunci: Forensik, Gedung BAPPEDA, Kabupaten Kutai Kartanegara

PENDAHULUAN

Gedung Kantor Bappeda Kabupaten Kutai Kartanegara, merupakan salah satu bangunan yang dibangun secara bersamaan ketika kompleks perkantoran Bupati Kabupaten Kutai Kartanegara di bangun. Berdasarkan informasi dan kondisi lapangan, pada beberapa bagian gedung ini mengalami kerusakan berupa

penurunan pada pelat lantai dasar, retak pada elemen struktural dan kerusakan pada komponen arsitektural. Berdasarkan kondisi tersebut, maka perlu dilakukan kajian terkait keandalan gedung tersebut dengan cara dilakukan audit forensik, sehingga dapat memberikan informasi bahwa gedung tersebut

masih memenuhi aspek keamanan, kenyamanan, kemudahan dan kesehatan. Untuk menggali data yang lebih komprehensif diperlukan kajian terkait audit forensik pada gedung tersebut yang nantinya akan dijadikan dasar dalam penilaian keandalan bangunan khususnya struktural dari gedung tersebut.

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan. Adapun rumusan masalah yang akan dibahas adalah:

1. Bagaimana perilaku kerusakan struktur gedung Bappeda Kabupaten Kutai Kartanegara berdasarkan data hasil analisa forensik ?
2. Bagaimana rekomendasi metode perbaikan yang sesuai pada kerusakan struktur gedung Bappeda Kabupaten Kutai Kartanegara berdasarkan data hasil analisa forensik ?

Adapun batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Analisa forensik dilakukan dengan metode non destruktif test.
2. Analisa forensik hanya dibatasi pada aspek keamanan dalam hal ini keamanan pada struktural

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan perilaku kerusakan struktur gedung Bappeda Kabupaten Kutai Kartanegara berdasarkan data hasil analisa forensik.
2. Mendapatkan rekomendasi metode perbaikan yang sesuai pada kerusakan struktur gedung Bappeda Kabupaten Kutai Kartanegara berdasarkan data hasil analisa forensik

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah memberikan rekomendasi terkait hasil analisa forensik Gedung Kantor Bappeda Kabupaten Kutai Kartanegara untuk tujuan perawatan gedung

LANDASAN TEORI

2. Studi Terdahulu

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Wood (2015), bahwa salah satu cara yang dapat

dilakukan untuk mengurangi risiko kegagalan bangunan adalah dengan menggunakan atau menerapkan standar konstruksi yang tinggi. Selain itu, pada bangunan atau infrastruktur yang sudah tua perlu dilakukan audit forensik untuk mengkaji keterbatasan desain dan standar yang digunakan pada saat bangunan tersebut dibangun menggunakan standar yang berlaku saat ini.

Menurut hasil penelitian Hamma dan Kouider (2017) bahwa frekuensi keruntuhan bangunan di Nigeria berada pada tingkat yang mengkhawatirkan dan dampaknya cukup besar, dimana hal ini disebabkan karena penggunaan mutu material di bawah standar seperti baja tulangan, baja struktural dan semen yang digunakan sebagai bahan campuran untuk pekerjaan pondasi, kolom, balok dan pelat. Berdasarkan studi dari literatur bahwa penggunaan bahan bangunan yang tidak memenuhi standar, desain yang salah serta kurangnya pengawasan yang tepat sebagai penyebab utama kegagalan dan keruntuhan bangunan di Nigeria. Dari hasil penelitian mereka didapat lima faktor penyebab keruntuhan bangunan di Nigeria. Pertama, frekuensi keruntuhan bangunan dengan dampak sedang dan kadang-kadang besar. Kedua, bahan bangunan yang buruk tidak sesuai standar tetap menjadi masalah utama dalam keruntuhan bangunan. Ketiga tulangan baja, baja struktural dan semen adalah bahan bangunan yang paling banyak mengalami kerusakan. Keempat, elemen pondasi, kolom, balok dan pelat adalah komponen bangunan kritis yang rentan terhadap kegagalan yang menyebabkan keruntuhan. Kelima, kesalahan oleh insinyur sipil atau ahli struktural merupakan faktor yang cukup penting dalam desain yang berhubungan dengan stabilitas bangunan

Penyebab Kegagalan Bangunan

Kegagalan bangunan dapat terjadi pada tahap konstruksi, pascakonstruksi, maupun selama umur layan bangunan. Moorthy (2021) menyebutkan bahwa kegagalan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu kegagalan



terkendali dan tidak terkendali. Kegagalan terkendali masih dapat diawasi dan ditangani, sementara kegagalan tidak terkendali terjadi secara tiba-tiba dan cenderung menimbulkan korban jiwa serta kerugian besar (Shinde & Mesram, 2020).

Lingkungan sekitar juga berperan dalam mempercepat kerusakan bangunan, seperti iklim tropis dengan curah hujan tinggi yang mempercepat korosi pada elemen struktur. Secara geologi, Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik yang aktif, sehingga rawan gempa. Secara geografis, kedekatan dengan laut mempercepat korosi akibat kandungan klorida, dan vegetasi lebat menyebabkan pelapukan tanah yang mengurangi daya dukung tanah.

Kerusakan bangunan dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti umur bangunan, kondisi tanah dan air tanah, angin, gempa, kualitas bahan dan perencanaan, pelaksanaan konstruksi, serta perubahan fungsi dan bentuk bangunan. Seiring bertambahnya usia, bangunan mengalami penurunan kualitas akibat gaya dalam dan pengaruh eksternal seperti gesekan dan radiasi. Tanah dengan karakteristik berbeda, serta air tanah yang tinggi, dapat menimbulkan penurunan tidak merata, pelumutan, rembesan, hingga tekanan lateral pada bangunan bawah tanah.

Angin yang kencang dapat menimbulkan daya tekan atau hisap, dan pada bangunan simetris atau bertingkat tinggi dapat memicu gaya torsi. Gempa yang terjadi mendadak dapat menyebabkan gaya lateral yang merusak struktur bangunan. Sementara itu, kualitas bahan, baik alami maupun buatan, sangat menentukan kekuatan bangunan, sehingga pemilihan material harus sesuai dengan fungsinya. Kualitas perencanaan yang kurang tepat, termasuk dalam menentukan asumsi beban dan kekuatan struktur, dapat menyebabkan kerusakan selama pelaksanaan atau masa layan.

Selain itu, kesalahan pelaksanaan juga menjadi faktor dominan kerusakan, terutama

akibat ketidaksesuaian dengan spesifikasi atau kurangnya pemahaman terhadap teknologi konstruksi. Perubahan fungsi dan bentuk bangunan tanpa perhitungan ulang terhadap struktur dapat menambah beban dan mengganggu kestabilan, yang pada akhirnya memperpendek umur layan bangunan.

Audit Forensik Bangunan Gedung

Audit forensik (forensic engineering) merupakan proses penilaian teknis terhadap kondisi bangunan gedung yang mengalami kerusakan atau penurunan kualitas akibat usia atau faktor lainnya. Penilaian ini dilakukan oleh tenaga ahli atau tim yang memiliki kompetensi khusus, melalui metode berbasis data dan fakta, baik secara visual maupun dengan pengujian sampel (Shinde & Mesram, 2020). Goudarzi (2023) menambahkan bahwa audit forensik juga mencakup investigasi penyebab kegagalan struktural, di mana tenaga ahli berperan sebagai penyidik dan saksi ahli dalam konteks hukum.

Tujuan audit forensik meliputi: observasi lokasi pascakegagalan atau indikasi kerusakan; pengumpulan bukti forensik; analisis penyebab kegagalan menggunakan pendekatan ilmiah dan teknik; penyusunan laporan audit serta rekomendasi perbaikan, perkuatan, atau pembongkaran; dan pemberian rekomendasi analisis risiko di lokasi konstruksi.

Awalnya audit forensik hanya difokuskan pada investigasi pascakegagalan, namun dalam perkembangannya cakupan diperluas untuk menilai kerusakan akibat bencana (seperti kebakaran dan gempa) serta bangunan yang telah melewati umur layan. Audit ini kini juga mencakup evaluasi kinerja layanan bangunan secara menyeluruh, termasuk kepatuhan terhadap standar, potensi kelebihan beban, kesalahan desain, cacat pelaksanaan, dan penurunan mutu struktur (Shinde & Mesram, 2020).

Keandalan Bangunan

1. Definisi

Keandalan bangunan gedung, menurut Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002, merupakan kemampuan bangunan untuk

menjalankan fungsinya sesuai dengan rencana. Setiap bangunan wajib memenuhi persyaratan administratif dan teknis, termasuk persyaratan keselamatan yang mencakup kemampuan struktur dalam menahan beban, serta perlindungan terhadap bahaya kebakaran dan petir. UU ini juga mewajibkan pemeriksaan keandalan sebelum bangunan digunakan, dan menekankan pentingnya panduan pemeriksaan yang objektif, konsisten, dan menyeluruh (Jiun, 2005).

Meskipun teknik pemeriksaan secara visual dan pengujian telah ditetapkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman, hasil penilaian masih bersifat deskriptif dan kualitatif. Hal ini berisiko menimbulkan ketidakkonsistenan dalam pengambilan keputusan, terlebih dengan adanya perbedaan pedoman antar daerah yang cenderung menghasilkan penilaian subjektif (Marzuki & Hesna, 2005).

2. Penilaian Aspek Struktural

Menurut Permen PUPR No. 29/PRT/M/2006, aspek struktural meliputi penentuan detail konstruksi, jenis beban, intensitas, serta cara bekerjanya beban. Setiap struktur harus dirancang agar kuat dan stabil dalam memikul beban sesuai kombinasi yang direncanakan, serta memenuhi kelayakan sepanjang umur layan bangunan. Pertimbangan lain meliputi fungsi, lokasi, daya tahan, dan kemudahan pelaksanaan konstruksi.

Identifikasi Kerusakan Beton

Kerusakan pada beton dapat dikenali melalui berbagai bentuk visual yang mencerminkan kondisi strukturalnya.

Retak (Cracks) merupakan pecah memanjang dan sempit pada beton. Jenis-jenis retak meliputi plastic cracking akibat evaporasi cepat, crazing karena bleeding berlebih atau curing yang tidak sempurna, random cracks akibat pergerakan struktur atau sambungan yang tidak tepat, serta retak karena reaksi alkali-agregat yang berkembang seiring waktu.

Voids adalah rongga dalam beton, umumnya disebabkan oleh pemasukan yang

kurang sempurna atau kebocoran bekisting. Honeycombing terjadi akibat mortar tidak merata, sementara sand streaking disebabkan oleh pencampuran yang buruk dan kebocoran pasta semen.

Scaling dan Spalling adalah pengelupasan permukaan beton. Scaling disebabkan siklus beku-cair, spalling akibat beban lalu lintas atau bekisting yang melekat, dusting karena abrasi partikel halus, dan popouts muncul akibat ekspansi agregat yang porous atau kontaminasi material reaktif.

Defleksi terjadi pada elemen struktural yang mengalami deformasi, seperti lendutan pada slab atau balok. Penyebabnya meliputi kelebihan beban, korosi, atau ketidaksesuaian konstruksi. SNI 2847:2019 mengatur bahwa lendutan harus dibatasi agar tidak menurunkan fungsi struktur secara signifikan.

Noda pada beton menunjukkan potensi kerusakan, seperti karat akibat korosi tulangan, bercak putih dari reaksi alkali-agregat, atau perubahan warna akibat kelembaban.

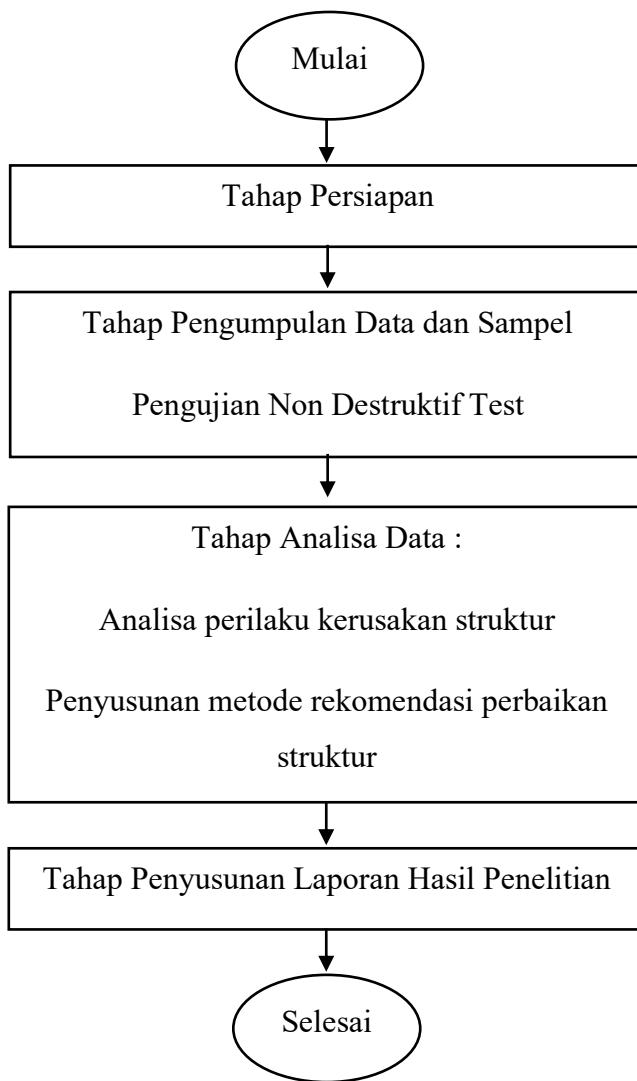
Erosi terjadi karena kembang-susut akibat perubahan suhu atau aksi mekanis. Bentuk umum erosi termasuk water cavitation karena aliran turbulen dan erosi oleh abrasi partikel padat dalam aliran air.

Korosi pada tulangan disebabkan oleh eksposur terhadap kelembaban dan lingkungan agresif. Karat yang terbentuk menurunkan daya lekat antara baja dan beton, serta melemahkan kekuatan struktur secara keseluruhan.

METODE PENELITIAN

Kerangka Pikir Penelitian

Untuk memberikan gambaran secara umum, terkait rencana pelaksanaan penelitian perlu disusun sebuah kerangka pikir penelitian yang menggambarkan skema yang akan dilakukan dalam penelitian ini dalam bentuk diagram alir seperti disajikan pada di bawah ini



METODE PENELITIAN

a. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui prosedur audit forensik struktur dengan beberapa tahapan. Pertama, dilakukan pengamatan visual terhadap elemen struktural, terutama yang menahan beban, untuk mengidentifikasi kerusakan seperti retak, keropos, lubang, atau pengelupasan. Hasil pengamatan digunakan

untuk menggambarkan pola retak (crack pattern) pada elemen balok.

Selanjutnya, gambar perencanaan digunakan sebagai pembanding karena dokumen as-built drawing tidak tersedia. Data geometri struktur diperoleh dari pengukuran langsung di lapangan menggunakan alat ukur total station untuk mengamati lendutan, dimensi elemen, dan deformasi struktural.

Pengujian material dilakukan dengan metode non-destructive. Kuat tekan beton diuji dengan Schmidt Rebound Hammer dan Ultrasonic Pulse Velocity (UPV), sedangkan jumlah serta diameter tulangan diuji menggunakan rebar locator. Pengukuran lebar retak dilakukan dengan microcrackmeter.

b. Instrumen Peralatan

- Instrumen utama yang digunakan dalam pengumpulan data adalah:
- Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPV) untuk evaluasi mutu beton,
- Schmidt Hammer Test untuk uji kekerasan permukaan beton,
- Rebar Scanner untuk mendeteksi lokasi, jarak, dan diameter tulangan.

c. Sistematika Audit Forensik

Audit forensik dimulai dengan identifikasi kerusakan struktur secara menyeluruh. Uji mutu beton dilakukan melalui UPV, yang mengukur kecepatan rambat gelombang ultrasonik dalam beton. Kecepatan ini dikorelasikan dengan kepadatan dan mutu beton berdasarkan standar BS 1881-203 dan ASTM C597. Hasil uji memberikan informasi mengenai integritas beton, termasuk kedalaman retak dan potensi kerusakan seperti honeycomb.

Selanjutnya, pengujian dengan Schmidt Hammer dilakukan untuk mengestimasi kuat tekan beton berdasarkan pantulan tumbukan pada permukaan beton. Pengujian ini merujuk pada standar ASTM C805 dan ACI 228.1R, dengan memperhatikan kondisi permukaan dan kelembaban.

Rebar scanner digunakan untuk menentukan ketebalan selimut beton dan

dimensi tulangan menggunakan metode induksi elektromagnetik. Metode ini efektif untuk mengevaluasi kondisi penulangan tanpa merusak elemen struktur.

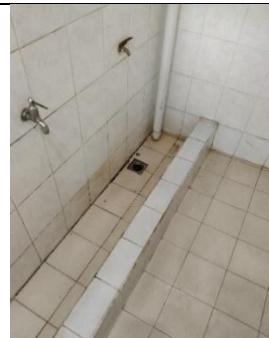
Sebagai pelengkap, dilakukan uji geolistrik untuk mempelajari karakteristik bawah permukaan, terutama untuk mengidentifikasi keberadaan cairan, mineral, atau potensi degradasi material berdasarkan resistivitas batuan. Metode ini bekerja dengan menginjeksikan arus listrik melalui elektroda yang ditanam dalam tanah, memungkinkan analisis struktur bawah permukaan secara tidak langsung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Penilaian Tingkat Kerusakan Pada Bangunan Gedung Bappeda

Dengan pengamatan visual dan beberapa akibat yang merupakan kategori kerusakan sedang.

	
Balok Induk Retak	Dinding Retak
	
Cat Dinding Terkelupas	Kolom Retak

	
Tanaman tumbuh pada retakan	Dinding Retak
	
Dinding Atap Dak Retak	Keramik jadi tidak rata
	
Plafon berludang dan rusak	Plafon terkelupas akibat rembesan air
	
Keramik Pecah	Keramik Tangga Pecah



Gambar 19 Keadaan kategori kerusakan Sedang

Setelah dilakukan pemeriksaan tidak terdapat keretakan pada balok yang > 0.075 cm dan tidak terjadi keretakan perubahan bentuk balok maka dapat disimpulkan struktur masih cukup kuat

2. Hasil Ultrasonic Pulse Velocity

Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity dilakukan pada bagian elemen kolom, balok dan sloof pada konstruksi bangunan gedung Bappeda Kutai Kartanegara seperti yang ditunjukkan dalam tabel berikut

Tabel 2 Hasil pengujian UPV

ID	Panjang (mm)	Time (m/s)	Velocity (m/s)	Kualitas Mutu Beton	Compressive Strength (Mpa)	No. Test	Compressive Strength (Mpa)
Kolom	124	76,2	1735,6	Kurang	16,00	K4.1	15,50
Kolom	124	83,3	1554,4	Kurang	15,00		
Kolom	124	82,4	1706,7	Kurang	15,50		
Kolom	124	59,6	2131,5	Cukup	18,50	K4.2	17,00
Balok	124	63,7	2002	Cukup	18,00		
Balok	124	59,9	1890,5	Kurang	17,00	B3.1	17,50
Kolom	124	85,5	1443,7	Kurang	14,00		
Kolom	124	85	1476	Kurang	14,50		
Balok	124	89,7	1527,1	Kurang	15,00	B3.4	15,00
Balok	124	87,5	1529,4	Kurang	15,00		
Kolom	124	62,1	1976,1	Kurang	17,00	K1.2	17,50
Kolom	124	60,5	2043,9	Cukup	18,00		
Kolom	124	98,6	1274,2	Kurang	13,00		
Kolom	124	85,1	1554,1	Kurang	15,00	K1.3	14,00
Kolom	124	81,18	1607,1	Kurang	15,00		
Kolom	124	83,8	1471	Kurang	14,00	K1.4	14,50
Sloof	124	95	1307,8	Kurang	13,00		
Sloof	124	87,5	1426,5	Kurang	13,50		
Kolom	124	101,7	1220	Kurang	12,00	K1.5	13,25
Kolom	124	85,6	1539,3	Kurang	14,50		
Kolom	124	68,2	1817,9	Kurang	16,00		
Kolom	124	82,14	1590,6	Kurang	15,00	K1.6	15,50
Kolom	124	72,5	1694,4	Kurang	15,50		
Kolom	124	73,1	1698	Kurang	15,50		
Kolom	124	56,8	2251,8	Cukup	19,00	K3.2	18,50
Kolom	124	61,6	2043,4	Cukup	18,00		
Kolom	124	66,9	1849,6	Kurang	16,50		
Kolom	124	67,9	1829,8	Kurang	16,50	K2.1	16,50
Kolom	124	84,4	1555,4	Kurang	15,00		
Kolom	124	84,9	1497	Kurang	14,50		
Balok	124	89,4	1428,7	Kurang	13,50	B2.1	14,75
Balok	124	70,9	1804,5	Kurang	16,00		
Kolom	124	87,9	1494,8	Kurang	15,00		
Kolom	124	76,8	1651,3	Kurang	15,50	K1.1	15,25

Berdasarkan hasil pengujian UPV didapat kualitas keseragaman mutu beton pada struktur eksisting rata-rata dengan grade kurang dengan kuat tekan beton terendah sebesar 12 mPa dan tertinggi adalah 19 mPa sehingga berdasarkan kondisi tersebut perlu menjadi perhatian.

3. Hasil Hammer Test

Pengujian menggunakan palu pantul (Rebound Hammer Test) dilakukan terhadap elemen struktur sloof, kolom dan balok pada konstruksi bangunan gedung Bappeda Kutai Kartanegara. Pengujian ini dilakukan pada 19 elemen struktur, yang terdiri atas 1

(satu) elemen sloof, 2 (dua) elemen balok dan 16 (enam belas) elemen kolom. Resumé hasil pengujian selanjutnya akan disajikan pada tabel di bawah ini. Sedangkan lokasi pengambilan sampel di tunjukkan pada gambar di bawah ini

Tabel 3 Hasil pengujian *hammer test*

Elemen Struktur	Kode	Kekuatan Tekan (MPa)	Kekerasan Permuakaan (N/mm ²)	Keseragaman Beton		Syarat Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)
				Nilai SD (N/mm ²)	Kualitas ACI 214R-02	
Kolom	K4.1	29,65	38,59	2,94	Sempurna	Memenuhi
Kolom	K4.2	34	41,32	3,06	Sangat Baik	Memenuhi
Balok	B3.1	36	41,76	2,57	Sempurna	Memenuhi
Kolom	K3.1	40	43,56	2,36	Sempurna	Memenuhi
Balok	B3.4	30	42,44	2,72	Sempurna	Memenuhi
Kolom	K3.2	21,65	32,57	2,64	Sempurna	Memenuhi
Kolom	K2.1	20	30,74	2,03	Sempurna	Memenuhi
Kolom	K2.2	57	53,67	2,63	Sempurna	Memenuhi
Kolom	K1.1	21,65	33,23	2,94	Sempurna	Memenuhi
Kolom	K1.2	32	40,31	2,89	Sempurna	Memenuhi
Kolom	K1.3	33	39,86	2,57	Sempurna	Memenuhi
Kolom	K1.4	38	42,94	2,64	Sempurna	Memenuhi
Sloof	S1.1	22	33,7	3,05	Sangat Baik	Memenuhi
Kolom	K1.5	29,65	39,01	3,39	Sangat Baik	Memenuhi
Kolom	K1.6	36	41,78	2,3	Sempurna	Memenuhi
Kolom	K1.7	34	40,67	2,51	Sempurna	Memenuhi
Kolom	K1.8	25	37,65	4,39	Cukup	Memenuhi
Kolom	K1.9	41	44,73	2,5	Sempurna	Memenuhi
Kolom	K1.10	21,65	33,62	3,4	Sangat Baik	Memenuhi

Berikut adalah hasil interpretasi terhadap hasil pengujian dengan hammer test yang diuraikan sebagai berikut :

Pengujian kuat tekan beton menggunakan metode Schmidt Hammer Test telah dilakukan pada berbagai elemen struktur seperti kolom, balok, dan sloof. Berdasarkan interpretasi hasil pengujian terhadap nilai palu terkoreksi, seluruh elemen yang diuji menunjukkan kekuatan beton yang masih memenuhi kriteria mutu minimum menurut PBI 1971 (kelas Beton II, K-250) dan SNI 2847:2013, yaitu kuat tekan rata-rata minimal sebesar 17 MPa.

Secara umum, nilai kuat tekan hasil interpretasi berkisar antara 20 MPa hingga 57 MPa, dengan tingkat keseragaman mutu yang dominan tergolong sempurna atau sangat baik berdasarkan klasifikasi ACI 214R-02, yang ditunjukkan oleh standar deviasi nilai palu yang rendah ($< 4,0 \text{ N/mm}^2$). Beberapa elemen, seperti kolom K2.2 dan K3.1, menunjukkan nilai kekuatan beton yang sangat tinggi, yaitu masing-masing sebesar 57 MPa dan 40 MPa. Sementara itu, elemen dengan nilai kuat tekan terendah tetap berada di atas batas minimum yang dipersyaratkan, seperti pada kolom K2.1 dan sloof S1.1 dengan nilai masing-masing 20 MPa dan 22 MPa.

Hasil ini menunjukkan bahwa struktur beton bangunan masih memiliki kemampuan yang layak dalam hal kekuatan tekan, dengan distribusi mutu beton yang cukup merata dan sesuai dengan standar teknis yang berlaku. Dengan demikian, dari sisi kekuatan tekan, elemen-elemen struktural yang diuji dinilai masih memenuhi kriteria keandalan struktur sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku.

4. Hasil Rebar Scanner

Mutu tulangan dan jumlah tulangan yang dipergunakan dalam evaluasi kekuatan struktur ditentukan berdasarkan As Built Drawing, namun karena tebalnya permukaan kolom dan balok serta tidak diperbolehkannya merusak struktur, sehingga pengujian rebar scanner hanya menghasilkan data tebal selimut beton terpasang

Tabel 5 Rebar scanner

Lokasi	Hasil Rebar Scanner					
	Tebal Selimut Beton (mm)					
K4.1	28	55	77	73	82	72
B3.1	80	70	86	91		
B3.2	32	63	39			
K3.1	68	61	46			
B3.3	71	79	68	82		
B3.4	62	59	28			
K3.1	77	18	18	77	71	
8 Lapis	72	48	46	44	43	41
K2.1	68					
K2.2	34	48	44	50	51	
K1.1	69	66	66	65		
K1.2	72	62	60	60		
K1.4	72	69	65	67	65	65
S1.1	89	59				
K1.5	60	57	54	55		
K1.6	66	68	73	80		
K1.7	79	81				
K1.8	86	83				
K1.9	52	50	50			
K1.10	73	70				

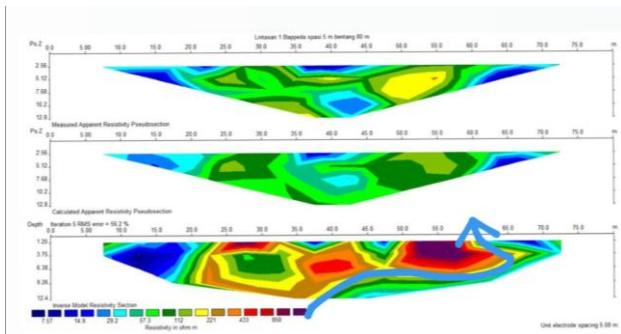
5. Data Hasil Geolistrik

Pengujian geolistrik disekitar bangunan Gedung Bappeda dilakukan berdasarkan lintasan seperti disajikan pada gambar di bawah ini.

Berdasarkan hasil pengujian geolistrik pada lintasan yang telah ditentukan, diperoleh nilai-nilai resistivitas semu dan chargeability semu dari lapisan batuan. Data tersebut disusun dalam format program Notepad dan kemudian diolah menggunakan perangkat lunak Res2DInv dengan metode pemodelan inversi. Hasil dari pemodelan tersebut menghasilkan sebaran dua dimensi (2-D) resistivitas dan chargeability dari lapisan batuan pada setiap lintasan.

- Lintasan 1

Hasil interpretasi menunjukkan bahwa zona lemah (amblesan) memiliki nilai resistivitas rendah ($< 10 \Omega \cdot m$) dan chargeability rendah (0–20 msec). Pada lintasan ini teridentifikasi keberadaan tanah lemah, genangan air, atau material berlumpur (salty) pada bentang titik 0 hingga 20 dengan kedalaman 0 hingga 9,26 meter. Kondisi ini mengindikasikan potensi tanah gerak. Selain itu, terdapat indikasi lapisan keras (kemungkinan berupa kumpulan pancang) pada bentang titik 53 hingga 57 dengan kedalaman hingga 9,26 meter dari permukaan.



Gambar 26 Sliding area pada lintasan 1

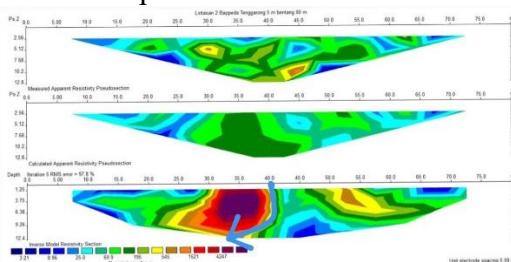
- Lintasan 2

Serupa dengan lintasan 1, zona lemah juga ditandai dengan nilai resistivitas rendah ($< 10 \Omega \cdot m$) dan chargeability rendah (0–20 msec). Zona lemah atau indikasi keberadaan genangan air/salty terdeteksi pada tiga area:

- Bentang titik 0 hingga 30 dengan kedalaman 0 hingga 9,26 meter,
- Bentang titik 65 hingga 75 dengan kedalaman 0 hingga 3,75 meter, dan

- Bentang titik 40 hingga 55 dengan kedalaman 9,26 hingga 12,4 meter.

Area-area ini mengindikasikan potensi tanah gerak dengan karakteristik clay jenuh. Selain itu, indikasi lapisan keras (kumpulan pancang) teridentifikasi pada bentang titik 33 hingga 37 dengan kedalaman antara 9,26 hingga 12,4 meter dari permukaan.



Gambar 27 Sliding area pada lintasan 2

6. Rekomendasi Metode Perbaikan

a. Penilaian Kategori Kerusakan Non-Struktural

Kerusakan non-struktural pada Gedung Bappeda diidentifikasi melalui adanya retak halus ($\leq 0,075$ mm) pada plesteran dan serpihan plester yang terlepas pada area terbatas. Tindakan perbaikan yang direkomendasikan bersifat arsitektural tanpa perlu mengosongkan bangunan.

b. Kerusakan Ringan pada Struktur

Kerusakan ringan mencakup retak kecil pada dinding dengan lebar 0,075–0,6 mm, plesteran terkelupas dalam area luas, serta kerusakan elemen non-struktural seperti lisplank. Meskipun kemampuan struktur tidak banyak berkurang, diperlukan perbaikan arsitektural untuk mempertahankan daya tahan bangunan. Perbaikan ini dapat dilakukan tanpa pengosongan bangunan.

c. Kerusakan Struktur Tingkat Sedang

Kerusakan tingkat sedang ditandai dengan retakan $> 0,6$ mm yang menyebar luas, termasuk pada elemen struktural utama seperti dinding pemikul beban dan kolom praktis, serta sebagian penurunan kapasitas struktur. Penanganannya mencakup restorasi struktur, perkuatan

beban, serta perbaikan arsitektural. Bangunan perlu dikosongkan sementara hingga proses restorasi selesai.

d. Rekomendasi Perbaikan Kolom

Kolom sebagai elemen struktur utama harus mendapat penanganan serius:

- Retak tanpa kerusakan beton/tulangan diperbaiki dengan injeksi resin atau epoxy.
- Beton kolom mengalami spalling tanpa kerusakan tulangan diperbaiki dengan grouting menggunakan beton mutu tinggi.
- Kerusakan berat dengan pecah beton dan buckling tulangan diperbaiki melalui penggantian tulangan, pemasangan sengkang, grouting, dan/atau jacketing.

e. Rekomendasi Perbaikan Balok

Balok yang berfungsi menahan lentur dan geser diperkuat dengan metode:

- Penambahan tumpuan atau pengurangan bentang,
- Jacketing (pembesaran balok),
- Penggunaan baja prategang,
- Penambahan pelat baja, dan
- Penggunaan FRP (Fiber Reinforced Polymer) sheet.

f. Rekomendasi Perbaikan Pelat

- Pelat beton yang mengalami kerusakan ditangani berdasarkan tingkat keparahannya:

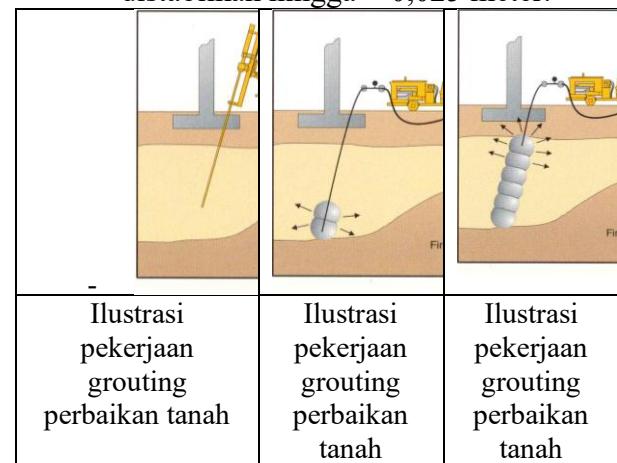
- Retak ringan diperbaiki dengan injeksi epoxy atau resin,
- Retak besar dan beton pecah tanpa kerusakan tulangan ditangani dengan grouting,

Kerusakan berat ditangani dengan penambahan ketebalan pelat, serta memastikan kelekatan antara beton lama dan baru melalui shear connector atau admixture.

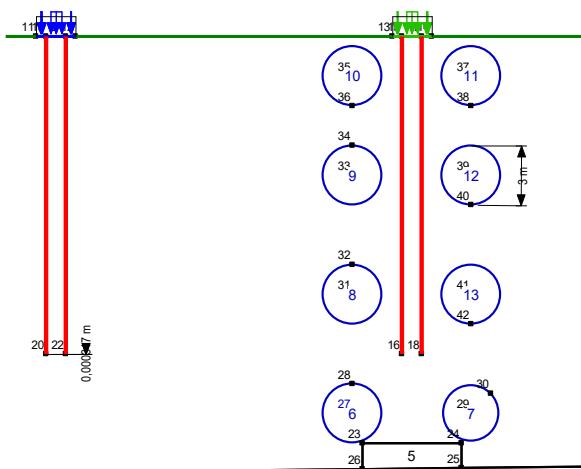
g. Rekomendasi Perbaikan Pondasi

Penanganan penurunan bangunan mencakup dua alternatif:

- Grouting Chemical, yaitu penyuntikan material kimia ke dalam tanah di sekitar pondasi untuk meningkatkan daya dukung tanah. Pelaksanaan grouting dilakukan pada ujung dan sepanjang tiang pancang dengan diameter zona grouting 3 meter. Material grouting yang disarankan adalah Estrogroout CG Admix dari Estop.
- Pembuatan Fondasi Baru, yakni menambahkan fondasi dalam berupa bore pile diameter 60 cm sedalam 35 meter untuk mencapai lapisan tanah dengan $NSPT \geq 60$. Pemodelan dengan metode FEM menunjukkan penurunan awal 0,76–0,94 meter, yang kemudian distabilkan hingga $< 0,025$ meter.



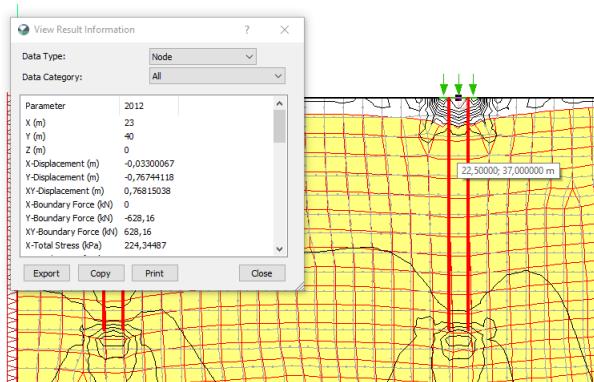
Gambar 28 Ilustrasi Grouting tanah



Dengan menggunakan program bantu Geoslope didapat hasil seperti di bawah ini :

Gambar 29 Perhitungan Grouting Tanah dengan program Geo Slope

Permodelan dengan menggunakan fondasi tiang pada kedalaman asumsi 12 meter dimana dari hasil analisis FEM didapatkan hasil penurunan yang terjadi adalah 0,76 hingga 0,94 meter.



Gambar 33 Perilaku dengan penggunaan pancang baru

Selanjutnya melakukan perkuatan terhadap bangunan untuk mendapatkan kondisi stabil penurunan $< 0,025$ meter. Dengan memberi support bore pile dengan diameter 60 cm sedalam 35 m hingga mendapatkan kedalaman dengan nilai NSPT 60.



Gambar 34 Ilustrasi 3 Dimensi

PENUTUP Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dalam pembahasan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Kondisi existing Gedung Bappeda Kabupaten Kutai Kartanegara tersebut secara visual sudah terdapat retakan pada dinding dan terjadi penurunan fondasi, hal ini mengakibatkan terjadi keretakan pada struktur dan lantai keramik. Oleh karena itu, perlu diadakan perbaikan, terutama pada area yang terjadi penurunan dan keretakan. Dari kajian aspek struktur dengan metode audit forensik, kondisi Gedung Bappeda Kabupaten Kutai Kartanegara secara keseluruhan mempunyai kondisi struktur yang tidak andal. Hal tersebut terlihat dari hasil pengujian dengan menggunakan UPVT, hammer test, rebar scanner serta pengamatan visual lapangan. Secara umum, kondisi ini dikarenakan terjadi penurunan pada pondasi sehingga struktur bangunan mengalami keretakan pada beberapa titik, sehingga perlu perbaikan dan perkuatan struktur tersebut.
2. Pada beberapa elemen yang mengalami kerusakan perlu dilakukan perbaikan, dimana pada elemen struktur beton perbaikan dapat dilakukan dengan cara injeksi dan atau

menggunakan material fiber reinforced polymer. Sedangkan pada fondasi dapat dilakukan dengan metode injeksi atau penambahan fondasi baru.

Saran

Adapun saran atau peluang penelitian di masa yang akan datang yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan pengujian karbonasi pada beton untuk memprediksi proses karbonasi yang telah terjadi pada beton yang kemungkinan berpengaruh pada nilai kuat tekan beton serta stabilitas struktur, serta pengujian korosi pada baja tulangan untuk memprediksi kehilangan penampang baja tulangan akibat korosi.
2. Perlu dianalisa sisa umur efektif gedung berdasarkan data hasil uji karbonasi dan korosi pada elemen.
3. Perlu dilakukan kajian ulang pembebanan pada struktur dengan menggunakan standar terbaru mengingat gedung dibangun 20 tahun yang lalu dengan standar yang lama sehingga dapat disesuaikan dengan fungsi gedung saat ini.
4. Perlu dilakukan pemeriksaan laik fungsi untuk tujuan sertifikat laik fungsi gedung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hamma-Adama, Kouider., 2017, Causes of Building Failure And Collapse In Nigeria, Professionals View, pp. 289-300.
- [2] Juin N.C, 2005, Development of Total Building Performance (TBP) Assessment System for Office Building, Department of Building, National University of Singapore.
- [3] Manlian R.A, Simanjuntak B, 2013, Identifikasi Variabel Penting Keandalan Bangunan Gedung Di Kota Serang, Jurnal Media Engineering Vol.3 No.3,
- [4] Marzuki, P.F. dan Hesna, Y, 2005, Prosiding Peringatan 25 Tahun Pendidikan MRK di Indonesia, Pengembangan Model Penilaian Kondisi Gedung Berstruktur Beton Bertulang Pasca Kebakaran, Institut Teknologi Bandung.
- [5] Moorthy T.N, 2021, Forensic Engineering Investigation on a Collapsed School Building Involved Multiple Deaths: A Real Case Report, Saudi Journal of Engineering and Technology 6(2), pp. 17-19.
- [6] Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2006, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 29/PRT/M/2006 tentang Pedoman Persyaratan Teknis Bangunan Gedung, Jakarta
- [7] Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2006, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 30/PRT/M/2006 tentang Pedoman Teknis Fasilitas dan Aksesibilitas pada Bangunan Gedung dan Lingkungan, Jakarta
- [8] Priyo, M. dan Wijatmiko, I.H. 2011, Evaluasi Keandalan Fisik Bangunan Gedung Studi Kasus di Wilayah Kabupaten Sleman, Jurnal Ilmiah Semesta Vol. 14, No. 2, pp. 150-159.
- [9] Pusat Litbang Permukiman, 2011, Laporan Akhir Kegiatan Penyusunan Konsep Pedoman Penilaian Keandalan Bangunan Gedung Dalam Rangka Pemberlakuan Sertifikat Laik Fungsi (SLF), Pusat Litbang Permukiman, Kementerian Pekerjaan Umum, Bandung.
- [10] Shinde R, Meshram K, 2020, Investigation Of Building Failure Using Structural Forensic Engineering, Internasional Journal of Scientific and Technology Reasearch Vol. 9 Issue 4, pp.1876-1878.



-
- [11] Taurino N, Wijayanto H., 2022, Studi Penilaian Keandalan Bangunan Gedung, Jurnal Mitra Teknik Sipil, Vol.5 No.1, pp. 257-264.
 - [12] Wuryanti W, Suhedi F, 2016, Penginterpretasian Hasil Inspeksi Keandalan Bangunan Gedung, Jurnal Permukiman Vol. 11 No.2, pp. 74-87.
 - [13] Wood J.G.M, 2015, Applying Forensic Investigations of Failures of Structural Performance, IABSE Conference – Structural Engineering Providing Solutions to Global Challenges, pp. 774-780.

HALAMANINI SENGAJA DIKOSONGKAN