



---

## KAJIAN INVESTIGASI FORENSIK GEDUNG ANGKAT BESI KABUPATEN KUTAI KARTANEGERA

Oleh

Sugiarto<sup>1</sup>, Tukimun<sup>2</sup>, Wahyu Mahendra<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945

Samarinda

Email: [1Sug14rto21@gmail.com](mailto:1Sug14rto21@gmail.com)

### Abstrak

*Kajian investigasi forensik yang dianggap perlu adalah untuk menilai seberapa besar aspek kekuatan struktural yang ada sebelum diputuskan metode pelaksanaan perbaikan dan lanjutan pembangunan yang sesuai dengan kebutuhan struktural pada gedung tersebut. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan hasil investigasi dan rekomendasi forensik pada Gedung Angkat Besi Kabupaten Kutai Kartanegara. Audit forensik dalam penelitian ini dilaksanakan melalui sejumlah tahapan terstruktur guna menjamin efektivitas dan efisiensi dalam memperoleh data yang valid terhadap kondisi struktur bangunan. Tahapan tersebut meliputi: Pengamatan Visual, Pemeriksaan Gambar Perencanaan, Pengujian Non-Destruktif (NDT), Pengukuran Geometri Struktur. Berdasarkan hasil analisa forensik pada gedung Angkat Besi didapat bahwa tingkat keseragaman beton bervariasi dari predikat cukup baik sampai baik dan kekuatan tekan beton bervariasi dari 16 mPa sampai 34 mPa, sehingga dapat ambil kesimpulan bahwa struktur Gedung Angkat Besi masih dapat digunakan dengan perlu perkuatan dan perbaikan pada beberapa elemen. Berdasarkan hasil analisa forensik direkomendasikan beberapa metode perbaikan pada elemen struktur seperti jacketing, atau membongkar sebagian elemen yang rusak.*

**Kata Kunci:** Kajian Investigasi Forensik, Gedung Angkat Besi

### PENDAHULUAN

Gedung Cabang Olahraga Angkat Besi Kabupaten Kutai Kartanegara yang terletak di Kompleks Stadion Rondong Demang, Kecamatan Tenggarong, Kabupaten Kutai Kartanegara, merupakan salahsatu infrastruktur olah raga yang mangkrak dalam tahap pembangunannya, namun demikian Pemerintah Kabupaten Kutai Kartanegara melalui Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah (APBD) Tahun Anggaran 2024 merencanakan untuk melanjutkan pembangunan gedung tersebut dengan pertimbangan kebutuhan daerah dalam rangka peningkatan sarana infrastruktur olah raga untuk mendukung pengembangan prestasi atlit dan cabang olahraga angkat besi di Kabupaten Kutai Kartanegara. Seiring dengan upaya melanjutkan pembangunan gedung tersebut,

diperlukan suatu kajian investigasi secara forensik terkait kondisi aktual dari gedung tersebut mengingat proses pembangunannya sudah terhenti selama beberapa tahun. Kajian investigasi forensik yang dianggap perlu adalah untuk menilai seberapa besar aspek kekuatan struktural yang ada sebelum diputuskan metode pelaksanaan perbaikan dan lanjutan pembangunan yang sesuai dengan kebutuhan struktural pada gedung tersebut.

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

1. Bagaimana hasil investigasi forensik pada Gedung Angkat Besi Kabupaten Kutai Kartanegara ?
2. Bagaimana rekomendasi penanganan pada Gedung Angkat Besi Kabupaten

Kutai Kartanegara berdasarkan hasil kajian investigasi forensik?

Adapun batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Analisa forensik dilakukan dengan metode non destruktif test.
2. Kajian perilaku hanya dilakukan pada aspek struktural dari gedung angkat besi.

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan hasil investigasi forensik pada Gedung Angkat Besi Kabupaten Kutai Kartanegara.
2. Mendapatkan rekomendasi penanganan pada Gedung Angkat Besi Kabupaten Kutai Kartanegara berdasarkan hasil kajian investigasi forensik.

Manfaat dari penelitian ini adalah mendapatkan kondisi struktural eksisting dari Gedung Angkat Besi dan rekomendasi yang dapat dapat dijadikan acuan untuk pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan atau lanjutan pembangunannya.

## LANDASAN TEORI

### 1.1. Studi Terdahulu

Menurut hasil penelitian Lusyana (2010), bahwa salahsatu penyebab kegagalan bangunan adalah diakibatkan oleh faktor gempa bumi. Kegagalan bangunan dapat diminimalisir apabila desain dan pelaksanaan bangunan tersebut sudah sesuai dengan standar yang berlaku. Pada bangunan-bangunan yang telah mengalami gempa bumi, perlu dilakukan audit forensik untuk mengetahui perilaku bangunan tersebut sehingga dapat dihasilkan rekomendasi terkait kondisi bangunan tersebut

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.

### 2.1. Faktor Penyebab Kerusakan Bangunan

#### a. Faktor Penyebab Kerusakan Bangunan

Kerusakan bangunan dapat terjadi sejak tahap pelaksanaan hingga masa layan bangunan. Faktor-faktor penyebab kerusakan meliputi umur bangunan, kondisi tanah dan air tanah, angin, gempa bumi, kualitas bahan, kesalahan perencanaan dan pelaksanaan, serta perubahan fungsi dan bentuk bangunan.

#### b. Umur Bangunan

Seiring bertambahnya usia bangunan, kualitas dan kemampuannya menurun, khususnya jika tidak disertai pemeliharaan berkala. Penurunan ini dipengaruhi oleh gaya dalam seperti momen dan tegangan yang menimbulkan rangkak (creep) serta kelelahan material (fatigue). Faktor eksternal seperti gesekan, benturan, radiasi matahari, dan hujan juga berkontribusi terhadap degradasi material.

#### c. Kondisi Tanah dan Air Tanah

Stabilitas bangunan sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah. Perbedaan karakteristik tanah pada lokasi yang berdekatan dapat

menyebabkan penurunan bangunan, terutama jika jenis pondasi tidak disesuaikan dengan kondisi tanah. Penurunan diferensial (differential settlement) berpotensi menimbulkan tegangan tambahan pada struktur. Selain itu, air tanah yang tinggi dapat menyebabkan perembesan, pelumutan, dan tekanan hidrostatik pada basement maupun lantai bawah tanah.

d. Angin

Angin kencang dapat menghasilkan daya tekan, hisap, maupun gaya torsi pada bangunan, terutama bangunan tinggi atau berbentuk asimetris. Meskipun Indonesia tidak termasuk wilayah yang rawan taifun, kerusakan akibat angin tetap dapat terjadi, khususnya pada bangunan tua atau dengan sistem konstruksi yang tidak memadai.

e. Gempa Bumi

Gempa tektonik yang terjadi akibat pergerakan lempeng bumi menjadi salah satu ancaman utama bagi bangunan. Besarnya dampak tergantung pada kedalaman pusat gempa, media tanah, serta kualitas struktur bangunan. Gaya gempa umumnya bekerja secara horizontal sebagai gaya lateral yang perlu diperhitungkan dalam perencanaan struktur.

f. Kualitas Bahan

Kualitas akhir bangunan ditentukan oleh bahan penyusunnya. Variasi kualitas bahan alami tergantung pada komposisi mineral dan lokasi asal, sementara bahan buatan tergantung pada proses produksinya. Pemilihan bahan harus disesuaikan dengan tujuan penggunaan bangunan, baik permanen maupun sementara, serta mempertimbangkan ketahanan terhadap zat kimia, api, atau radiasi.

g. Kualitas Perencanaan

Perencanaan yang tidak akurat, terutama dalam menetapkan asumsi beban dan kekuatan struktur, dapat menyebabkan kerusakan bangunan. Oleh karena itu, pemahaman yang menyeluruh terhadap kondisi wilayah, karakteristik bahan, dan prinsip mekanika struktur sangat penting untuk

menghasilkan desain yang andal dan tahan lama.

h. Kesalahan Pelaksanaan

Kesalahan dalam pelaksanaan konstruksi merupakan penyebab signifikan kerusakan bangunan. Hal ini mencakup ketidaksesuaian dengan spesifikasi teknis serta kurangnya pemahaman pelaksana terhadap teknologi konstruksi yang digunakan. Ketimpangan antara perkembangan teknologi dan keterampilan pelaku lapangan menjadi tantangan yang perlu diatasi.

i. Perubahan Fungsi dan Bentuk

Perubahan fungsi atau bentuk bangunan tanpa perencanaan ulang dapat memengaruhi stabilitas struktur. Contohnya termasuk perubahan bangunan hunian menjadi pertokoan atau penambahan lantai tanpa evaluasi struktural. Perubahan tersebut dapat menimbulkan beban tambahan yang tidak diperhitungkan sebelumnya, sehingga berpotensi menurunkan umur layanan bangunan.

## 2.2. Investigasi Forensik Bangunan Gedung: Definisi dan Tujuan

Investigasi forensik bangunan gedung merupakan proses evaluasi kinerja suatu bangunan yang dilakukan oleh tenaga ahli sesuai bidang keilmuannya. Evaluasi ini ditujukan untuk mengidentifikasi kerusakan atau penurunan kualitas bangunan menggunakan metode yang didasarkan pada data aktual dari observasi visual maupun hasil pengujian (Shinde dan Mesram, 2020). Menurut Goudarzi (2023), investigasi forensik juga mencakup penyelidikan hukum oleh ahli yang mampu bertindak sebagai detektif, penyidik, dan saksi ahli guna menentukan sebab-akibat terjadinya kegagalan bangunan. Tujuan investigasi forensik meliputi:

- Observasi lokasi kejadian setelah terjadi kegagalan struktural;
- Pengumpulan bukti forensik;

- Analisis penyebab kegagalan menggunakan pendekatan ilmiah dan teknis;
- Penyusunan laporan investigasi serta rekomendasi teknis;
- Penyusunan analisis risiko pada lokasi bangunan.

Saat ini, lingkup investigasi forensik tidak hanya terbatas pada kegagalan bangunan, tetapi juga mencakup penilaian pasca bencana (kebakaran, gempa), dan evaluasi kinerja bangunan setelah umur layan berakhir. Investigasi juga mencakup aspek kesesuaian terhadap standar, overloading, evaluasi desain, serta cacat pelaksanaan dan penurunan mutu struktur lainnya.

### 2.3. Identifikasi Kerusakan Beton

#### a. Retak

Retak pada beton berupa garis panjang dan sempit yang disebabkan oleh:

- a) Evaporasi air yang cepat (plastic cracking);
- b) Bleeding berlebih atau curing tidak sempurna (crazing);
- c) Pergerakan struktur atau sambungan yang buruk (random cracks);
- d) Reaksi kimia antara alkali dan agregat yang menyebabkan retak progresif.

#### b. Voids

Voids adalah lubang pada beton yang timbul akibat:

- a) Pemadatan yang tidak optimal karena kepadatan tulangan atau bekisting (honeycombing);
- b) Kebocoran bekisting yang diperburuk oleh campuran beton yang tidak proporsional (sand streaking).

#### c. Scaling atau Spalling

Kerusakan permukaan beton meliputi:

- a) Pengelupasan akibat pembekuan dan pencairan berulang (scaling);
- b) Beban berlebih atau lepasnya material dari permukaan bekisting (spalling);
- c) Abrasi ringan yang menyebabkan partikel halus terlepas (dusting);

- d) Ekspansi agregat berpori yang membentuk rongga (popouts).

#### d. Defleksi

Defleksi ditunjukkan dengan lengkungan atau perubahan bentuk pada elemen struktural seperti slab dan kolom. Penyebabnya antara lain beban berlebih, korosi, kekurangan konstruksi, dan gempa. Defleksi harus dikendalikan agar tidak melebihi batasan sesuai SNI 2847:2019.

#### e. Noda

Noda di permukaan beton dapat menjadi indikator korosi, reaksi kimia, atau kelembaban. Contohnya termasuk noda karat akibat korosi tulangan, bercak putih akibat reaksi alkali-agregat, serta perubahan warna karena kelembaban.

#### f. Erosi

Erosi terjadi akibat kembang susut berulang yang disebabkan oleh:

- a) Disintegrasi pada titik aliran turbulen (water cavitation);
- b) Abrasi partikel padat dalam aliran air terhadap beton.

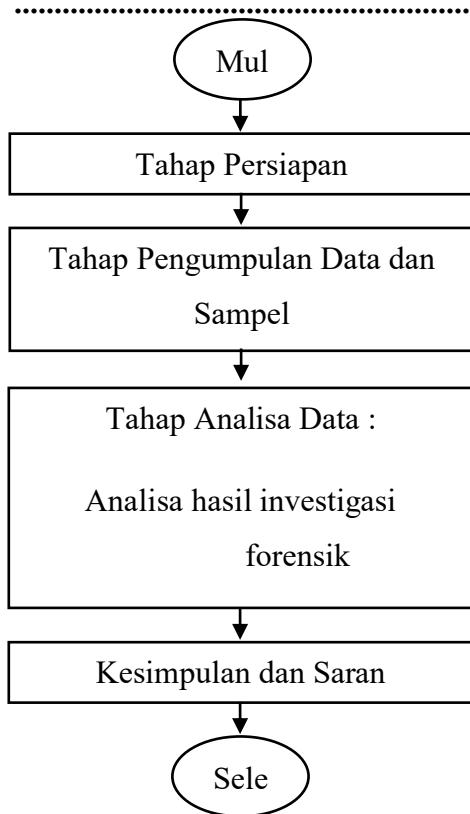
#### g. Korosi

Korosi pada tulangan disebabkan oleh ekspos terhadap udara lembab atau lingkungan agresif. Korosi menyebabkan penurunan daya lekat antara beton dan baja, serta menurunkan kekuatan struktur.

## METODE PENELITIAN

### 1. 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.



**Gambar 4** Kerangka pikir penelitian

## 2. Metode Penelitian

### a. Tahapan Penelitian

Audit forensik dalam penelitian ini dilaksanakan melalui sejumlah tahapan terstruktur guna menjamin efektivitas dan efisiensi dalam memperoleh data yang valid terhadap kondisi struktur bangunan. Tahapan tersebut meliputi:

- Pengamatan Visual

Pemeriksaan visual dilakukan secara langsung maupun dengan bantuan kamera untuk mengidentifikasi jenis dan tingkat kerusakan seperti retak, keropos, lubang, dan pengelupasan. Fokus utama adalah pada elemen-elemen struktur pemikul beban, baik vertikal maupun horizontal. Keluaran dari tahap ini berupa dokumentasi pola retakan (crack pattern) pada elemen balok struktur.

- Pemeriksaan Gambar Perencanaan

Mengingat tidak tersedia dokumen as-built drawing, maka gambar perencanaan digunakan sebagai acuan untuk membandingkan kondisi

aktual di lapangan. Gambar ini juga menjadi dasar dalam proses evaluasi struktur bangunan.

- Pengujian Non-Destruktif (NDT)

Pengujian mutu material dilakukan tanpa merusak struktur, antara lain menggunakan Schmidt Rebound Hammer dan Ultrasonic Pulse Velocitymeter (UPV) untuk beton, serta rebar locator untuk mengidentifikasi jumlah dan diameter tulangan. Lebar retak diukur dengan alat microcrackmeter.

- Pengukuran Geometri Struktur

Dilakukan menggunakan alat ukur total station untuk mendapatkan data dimensi dan bentuk struktur yang ada. Mengingat tidak tersedia gambar kerja, pengukuran langsung di lapangan diperlukan guna memperoleh informasi akurat mengenai kondisi eksisting. Data yang dihasilkan meliputi nilai lendutan maksimum elemen balok (deflection check), denah struktur, panjang bentang balok, dimensi balok dan kolom, deformasi kolom (story drift), serta kerataan pelat lantai.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil Ultrasonic Pulse Velocity

Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity telah dilakukan pada bagian elemen kolom, balok, dak, pada konstruksi bangunan di Kawasan Stadion Rondong Demang. Pengujian UPV dilakukan pada elemen kolom, balok, dak dan hasil yang didapatkan dari pengujian dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Kolom	400	04/06/2024	k2lt2	3350,0	Cukup Baik
Lantai 3					
Balok	200	04/06/2024	b1lt3	3320,0	Cukup Baik
Kolom	500	04/06/2024	k2lt3b	3330,0	Cukup Baik
Balok Atap Dak	200	04/06/2024	bad4	3740,0	Baik
dak	200	04/06/2024	dak	3090,0	Cukup Baik
tangga	200	04/06/2024	tgga	3290,0	Cukup Baik
ID	Panjang (L) (mm)	Date	Kode Elemen	Velocity (m/s)	Kualitas Mutu Beton
Lantai 1					
Kolom	500	04/06/2024	k1lt1	3360,0	Cukup Baik
Kolom	400	04/06/2024	k1lt2	3500,0	Cukup Baik
Kolom	400	04/06/2024	k2lt1	3630,0	Baik
Lantai 2					
Balok	200	04/06/2024	b1lt2	3080,0	Cukup Baik
Balok	260	04/06/2024	b2lt2	3000,0	Cukup
Balok	260	04/06/2024	b3lt2	3040,0	Cukup

**Tabel 4** Rekapitulasi hasil Pengujian UPV sesuai SNI ASTM C597

## B. Hasil Rebar Scanner

Rebar Scanner telah dilakukan pada bagian elemen kolom, balok, dak, pada bangunan kawasan stadion rondong demang. Pengujian dilakukan pada elemen kolom, balok, dak menggunakan alat Rebar Scanner. Adapun hasil yang didapatkan dari pengujian dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

**Tabel 11** Hasil uji rebar scanner

Entrusting Company					Report Date	2024-06-10		
Construction Company					Detection Date	2024-06-04		
Design Company					Detection Reason	Commission		
Management Company					Certificate Number	IWIN RBL+		
Development Company					Detection Basis	GB50204-2002		
Results								
NO.	Detection site	Direction	Design Requirement	Design Thickness (mm)	Average Thickness (mm)	Rebar Number	Average Space (mm)	Qualified Rate
1	Column TGR001	X	100	100	27.83	6	132.8	0.0%
2	Column TGR001	Y	0	155	22.06	18	107.0	0.0%
3	Column TGR002	X	100	100	60.50	4	154.3	0.0%
4	Column TGR002	Y	0	155	43.79	14	106.0	0.0%
5	Column TGR003	X	100	100	35.50	4	104.0	0.0%
6	Column TGR003	Y	0	155	21.46	13	113.0	0.0%
Remarks								

Entrusting Company					Report Date	2024-06-10		
Construction Company					Detection Date	2024-06-04		
Design Company					Detection Reason	Commission		
Management Company					Certificate Number	IWIN RBL+		
Development Company					Detection Basis	GB50204-2002		
Results								
NO.	Detection site	Direction	Design Requirement	Design Thickness (mm)	Average Thickness (mm)	Rebar Number	Average Space (mm)	Qualified Rate
1	Column TGR001	X	100	100	27.83	6	132.8	0.0%
2	Column TGR001	Y	0	155	22.06	18	107.0	0.0%
3	Column TGR002	X	100	100	60.50	4	154.3	0.0%
4	Column TGR002	Y	0	155	43.79	14	106.0	0.0%
5	Column TGR003	X	100	100	35.50	4	104.0	0.0%
6	Column TGR003	Y	0	155	21.46	13	113.0	0.0%
Remarks								



Entrusting Company				Report Date		2024-06-10		
Construction Company				Detection Date		2024-06-04		
Design Company				Detection Reason		Commission		
Management Company				Certificate Number		IWIN RBL+		
Development Company				Detection Basis		GB50204-2002		
Results								
NO.	Detection site	Direction	Design Requirement	Design Thickness (mm)	Average Thickness (mm)	Rebar Number	Average Space (mm)	Qualified Rate
7	Column TGR005	X	100	100	40.00	4	107.3	0.0%
8	Column TGR005	Y	0	155	23.92	13	123.0	0.0%
9	Others TGR018	X	100	156	15.90	10	120.8	0.0%
10	Others TGR018	Y	0	155	22.33	9	140.0	0.0%
11	Beam TGR008	X	100	100	43.00	4	92.7	0.0%
12	Beam TGR008	Y	0	155	29.89	19	88.0	0.0%
Remarks								
Entrusting Company				Report Date		2024-06-10		
Construction Company				Detection Date		2024-06-04		
Design Company				Detection Reason		Commission		
Management Company				Certificate Number		IWIN RBL+		
Development Company				Detection Basis		GB50204-2002		
Results								
NO.	Detection site	Direction	Design Requirement	Design Thickness (mm)	Average Thickness (mm)	Rebar Number	Average Space (mm)	Qualified Rate
25	Others TGR014	X	100	155	792.63	16	87.6	0.0%
26	Column TGR017	X	100	156	58.14	7	117.0	0.0%
27	Column TGR017	Y	0	155	47.00	11	133.0	0.0%
28	Others TGR012	X	100	155	53.80	5	120.8	0.0%
29	Others TGR012	Y	0	155	34.09	11	86.0	0.0%
Remarks								
Report Date: 2024-06-10								
Construction Company: Commission								
Design Company: IWIN RBL+								
Management Company: GB50204-2002								
Development Company: Detection Basis								
Entrusting Company: Report Date								
Construction Company: Detection Date								
Design Company: Detection Reason								
Management Company: Certificate Number								
Development Company: Remarks								
Entrusting Company: Report Date								
Construction Company: Detection Date								
Design Company: Detection Reason								
Management Company: Certificate Number								
Development Company: Remarks								
Entrusting Company: Report Date								
Construction Company: Detection Date								
Design Company: Detection Reason								
Management Company: Certificate Number								
Development Company: Remarks								
Entrusting Company: Report Date								
Construction Company: Detection Date								
Design Company: Detection Reason								
Management Company: Certificate Number								
Development Company: Remarks								
Entrusting Company: Report Date								
Construction Company: Detection Date								
Design Company: Detection Reason								
Management Company: Certificate Number								
Development Company: Remarks								
Entrusting Company: Report Date								
Construction Company: Detection Date								
Design Company: Detection Reason								
Management Company: Certificate Number								
Development Company: Remarks								
Entrusting Company: Report Date								
Construction Company: Detection Date								
Design Company: Detection Reason								
Management Company: Certificate Number								
Development Company: Remarks								
Entrusting Company: Report Date								
Construction Company: Detection Date								
Design Company: Detection Reason								
Management Company: Certificate Number								
Development Company: Remarks								
Entrusting Company: Report Date								
Construction Company: Detection Date								
Design Company: Detection Reason								
Management Company: Certificate Number								
Development Company: Remarks								
Entrusting Company: Report Date								
Construction Company: Detection Date								
Design Company: Detection Reason								
Management Company: Certificate Number								
Development Company: Remarks								
Entrusting Company: Report Date								
Construction Company: Detection Date								
Design Company: Detection Reason								
Management Company: Certificate Number								
Development Company: Remarks								
Entrusting Company: Report Date								
Construction Company: Detection Date								
Design Company: Detection Reason								
Management Company: Certificate Number								
Development Company: Remarks								
Entrusting Company: Report Date								
Construction Company: Detection Date								
Design Company: Detection Reason								
Management Company: Certificate Number								
Development Company: Remarks								
Entrusting Company: Report Date								
Construction Company: Detection Date								
Design Company: Detection Reason								
Management Company: Certificate Number								
Development Company: Remarks								
Entrusting Company: Report Date								
Construction Company: Detection Date								
Design Company: Detection Reason								
Management Company: Certificate Number								
Development Company: Remarks								
Entrusting Company: Report Date								
Construction Company: Detection Date								
Design Company: Detection Reason								
Management Company: Certificate Number								
Development Company: Remarks								
Entrusting Company: Report Date								
Construction Company: Detection Date								
Design Company: Detection Reason								
Management Company: Certificate Number								
Development Company: Remarks								
Entrusting Company: Report Date								
Construction Company: Detection Date								
Design Company: Detection Reason								
Management Company: Certificate Number								
Development Company: Remarks								
Entrusting Company: Report Date								
Construction Company: Detection Date								
Design Company: Detection Reason								
Management Company: Certificate Number								
Development Company: Remarks								

Koefisien variasi dihitung dari nilai rebound setiap sampel, untuk menilai tingkat keseragaman mutu beton, khususnya pada bagian pilecap.

#### 4. Hasil Uji Hammer Test

Pengujian dilaksanakan pada elemen struktur kolom, balok, dan dak pada konstruksi bangunan di kawasan Stadion Rondong Demang pada 4 Juni 2024. Hasil menunjukkan nilai koefisien variasi (KV) berkisar antara 5,33% hingga 9,05%. Berdasarkan standar ACI 214R-02, nilai KV di atas 6% mengindikasikan bahwa keseragaman beton kurang baik.

Namun, menurut SNI 6880:2016, pengujian Hammer Test digunakan untuk mengevaluasi keseragaman beton atau menentukan area pengambilan sampel inti, bukan untuk menentukan kekuatan beton struktural secara langsung. Prediksi kekuatan beton hanya bersifat estimasi.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sebagian besar elemen struktur memiliki kekuatan beton yang memenuhi syarat minimum kuat tekan sebesar 17 MPa sebagaimana dipersyaratkan oleh SNI 6880:2016. Secara khusus:

- Balok B1, B2, B3, Kolom K1LT2, K2LT2, dan Balok B1LT3 menunjukkan kekuatan berkisar antara 21–33 MPa, meskipun beberapa memiliki  $KV > 6\%$  yang menandakan keseragaman kurang baik.
- Kolom K2LT3 dan Balok B2 menunjukkan tingkat keseragaman baik ( $KV < 6\%$ ) dan kekuatan beton memadai.
- Balok BAD menunjukkan kekuatan beton 20 MPa namun dengan  $KV > 6\%$ .
- Dak menunjukkan kekuatan beton 16 MPa yang tidak memenuhi kriteria minimum SNI 6880:2016, dengan nilai koefisien variasi yang juga melebihi batas.

Secara umum, hasil Hammer Test menunjukkan sebagian besar elemen struktur memenuhi persyaratan kekuatan minimum, meskipun terdapat indikasi variasi

keseragaman mutu pada beberapa elemen yang perlu menjadi perhatian lebih lanjut.

**Tabel 31** Resume hasil pengujian

Elemen Struktur	Kode	Kekuatan Tekan (MPa)	Kekerasan Permukaan (N/mm <sup>2</sup> )	Keseragaman Beton		Koefisien Variasi (%) (N/mm <sup>2</sup> )	Kualitas Koefisien Variasi ACI 214R-02	Syarat Beton Struktural (SNI 6880:2016)
				Nilai SD (N/mm <sup>2</sup> )	ACI 214R-02			
HT225								
Kolom Lantai 1	K1LT1	33	41,41	3,20	7,73	Kurang Baik	Memenuhi	
Kolom Lantai 1	K2LT1	52	51,81	3,00	5,79	Baik	Memenuhi	
Stair Landing	Border Tangga	34	45,63	3,59	7,87	Kurang Baik	Memenuhi	
Beam	B3	21	33,04	2,99	9,05	Kurang Baik	Memenuhi	
Beam	B1	23	32,67	1,96	6,01	Kurang Baik	Memenuhi	
Beam	B2	23	33,10	1,91	5,78	Baik	Memenuhi	
Kolom Lantai 2	K1LT2	30	39,17	2,90	7,39	Kurang Baik	Memenuhi	
Kolom Lantai 2	K2LT2	33	41,98	3,79	9,03	Kurang Baik	Memenuhi	
Beam Lantai 3	B1LT3	32	40,18	2,90	7,21	Kurang Baik	Memenuhi	
Kolom Lantai 3	K2LT3	23	32,11	1,71	5,33	Baik	Memenuhi	
Beam	BAD	20	31,54	2,31	7,33	Kurang Baik	Memenuhi	
Concrete Slab	DAK	16	23,84	1,76	7,38	Kurang Baik	Tidak Memenuhi	

#### D. Rekomendasi Perbaikan

##### 1. Perbaikan pada Balok

Struktur balok di Gedung Angkat Besi dapat diperkuat dengan beberapa metode yang disesuaikan dengan kondisi eksisting. Beberapa pendekatan yang dapat dilakukan antara lain:

- Penambahan pelat baja (steel plate bonding): Pelat baja direkatkan dengan epoxy pada sisi bawah atau samping balok untuk meningkatkan kekuatan lentur atau geser. Metode ini efektif dan cepat, namun membutuhkan permukaan beton yang bersih serta sambungan yang kedap air.
- Perkuatan dengan FRP (Fiber Reinforced Polymer): Serat karbon atau aramid ditempelkan dengan resin pada permukaan balok. Material ini ringan, tahan korosi, dan mudah dipasang, meski biaya relatif tinggi dan sensitif terhadap suhu tinggi.
- Penambahan penampang: Dengan menambah dimensi balok menggunakan beton baru dan tulangan tambahan, kapasitas lentur dan geser dapat ditingkatkan. Ikatan antara beton lama dan baru harus diperkuat dengan bahan pengikat (bonding agent).

##### 2. Perbaikan pada Kolom

Untuk memperkuat kolom, terdapat beberapa metode yang bisa digunakan tergantung pada tingkat kerusakan dan kebutuhan struktural:

- Concrete jacketing: Menambah lapisan beton baru di sekeliling kolom disertai tulangan tambahan. Permukaan lama harus dibersihkan dan disiapkan agar dapat menyatu dengan beton baru menggunakan bonding agent dan dowel.
- Steel jacketing: Kolom dibungkus dengan pelat atau profil baja dan dikencangkan menggunakan baut atau las. Solusi ini praktis dan cocok untuk area dengan ruang terbatas, namun perlu perlindungan terhadap korosi.
- FRP wrapping: Pelapisan kolom dengan bahan FRP memberikan peningkatan kekuatan geser dan daktilitas tanpa menambah dimensi. Cocok untuk bangunan tahan gempa.
- Post-tensioned strengthening: Menggunakan kabel prategang yang dipasang di sekeliling kolom untuk memberi gaya tekan tambahan. Cocok untuk bangunan tinggi atau struktur berat, namun memerlukan desain dan pelaksanaan yang lebih kompleks.
- Injeksi epoxy: Retakan-retakan kecil pada kolom dapat diperbaiki dengan injeksi resin untuk mengisi celah dan mencegah kerusakan lebih lanjut. Metode ini efektif untuk retakan kecil yang tidak berkembang.

### 3. Perbaikan pada Pelat

Struktur pelat memerlukan perhatian khusus apabila ditemukan retak, spalling, korosi tulangan, atau deformasi. Berikut beberapa metode perbaikannya:

- Crack injection: Injeksi epoxy atau poliuretan ke dalam retakan kecil untuk mengembalikan integritas pelat dan mencegah masuknya air yang bisa menyebabkan korosi. Retakan harus kering dan bersih sebelum injeksi dilakukan.

- Patch repair: Mengganti bagian pelat yang mengalami kerusakan lokal akibat spalling atau beban berlebih, kemudian ditambal dengan mortar khusus.
- Concrete overlay: Menambahkan lapisan beton atau mortar di atas pelat lama untuk memperbaiki permukaan yang aus. Perlu dilakukan persiapan permukaan dengan bonding agent dan mungkin ditambahkan tulangan jika berfungsi sebagai pelat struktural.
- Perkuatan dengan FRP: Pemasangan serat karbon (CFRP) atau pelat baja pada bagian bawah pelat untuk meningkatkan kekuatan lentur. Perlu dilakukan analisis struktural untuk memastikan metode ini sesuai dengan kondisi pelat.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Dari hasil analisa dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisa forensik pada gedung Angkat Besi didapat bahwa tingkat keseragaman beton bervariasi dari predikat cukup baik sampai baik dan kekuatan tekan beton bervariasi dari 16 mPa sampai 34 mPa, sehingga dapat ambil kesimpulan bahwa struktur Gedung Angkat Besi masih dapat digunakan dengan perlu perkuatan dan perbaikan pada beberapa elemen.
2. Berdasarkan hasil analisa forensik direkomendasikan beberapa metode perbaikan pada elemen struktur seperti jacketing, atau membongkar sebagian elemen yang rusak.

### Saran

Dari hasil analisa dapat diberikan saran beberapa hal sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan perbaikan dan perkuatan pada elemen-elemen yang mengalami kerusakan.

2. Perlu dilakukan analisa ulang terhadap komponen yang diganti atau mengalami perkuatan secara terintegrasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Egenhofer M.J, 2002, Ilmu Informasi Geografis Bangunan, Konferensi Internasional Kedua, GIScience.
- [2] Hamma-Adama, Kouider., 2017, Causes of Building Failure And Collapse In Nigeria, Professionals View, pp. 289- 300.
- [3] Jiun N.C, 2005, Development of Total Building Performance (TBP) Assessment System for Office Building, Department of Building, National University of Singapore.
- [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] Proske D, Schmid M, 2022, Comparison of The Collapse Frequency and Failure Probability of Buildings, Acta Polytechnica CTU Proceedings.
- [9] Shaikh M.F, Pathak R, Pandey A, 2019, *Forensic Structural Engineering an Overview*, Proceedings of the International Conference on Sustainable Materials and Structures for Civil Infrastructures.
- [10] Shinde R, Meshram K, 2020, *Investigation Of Building Failure Using Structural Forensic Engineering*, Internasional Journal of Scientific and Technology Research Vol. 9 Issue 4, pp.1876-1878.
- [11] Yurmansyah, I, Lusyana, 2010, *Teknik Forensik Bangunan Gedung Dalam Identifikasi Bencana*, Jurnal Rekayasa Sipil Vol. 7 Nomor 2, pp. 96-105.
- [12] 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.