



**LAPORAN PENELITIAN REGULER  
YANG DIAJUKAN KE LEMBAGA PENELITIAN DAN  
PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT**



**KATEGORISASI TINGKAT RISIKO KERUSAKAN BETON  
BERBASIS PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON  
PADA SETIAP ELEMEN STRUKTUR GEDUNG *EXISTING***

Disusun oleh:

**Ketua Tim**

Henny Wiyanto, Dr., Ir., M.T. (0316106907/10393041)

**Anggota Peneliti:**

Dewi Linggasari, Ir., M.T. (10385004)

**Anggota Mahasiswa:**

Aurelia Clarissa (325200007)

Bastian Hosea Wiyanto (915230092)

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS TARUMANAGARA  
JAKARTA  
JANUARI 2024**

**HALAMAN PENGESAHAN  
PROPOSAL PENELITIAN  
PERIODE II / TAHUN 2023**

1. Judul Penelitian : Kategorisasi Tingkat Risiko Kerusakan Beton Berbasis Pengujian Kuat Tekan Beton Pada Setiap Elemen Struktur Gedung *Existing*
2. Skema Penelitian : REGULER
3. Ketua Tim
- a. Nama dan gelar : Dr. Ir. Henny Wiyanto, MT.
- b. NIDN/NIK : 0316106907 / 10393041
- c. Jabatan/gol. : IV A
- d. Program Studi : Sarjana Teknik Sipil
- e. Fakultas : Teknik
- f. Bidang Keahlian : Manajemen Rekayasa Konstruksi
- g. Alamat kantor : Jl. Let. Jend. S. Parman No. 1 Jakarta 11440
- h. No. HP/Telp/email : 081319088220 / 021-5672548/  
hennyw@ft.untar.ac.id
4. Anggota Tim Penelitian
- a. Jumlah anggota : Dosen 1 (satu) orang
- b. Nama anggota I/Keahlian : Ir. Dewi Linggasari, MT. / Konstruksi
- c. Jumlah mahasiswa : 2 (dua) orang
- d. Nama mahasiswa I/NIM : Aurelia Clarissa / 325200007
- e. Nama mahasiswa I/NIM : Bastian Hosea Wiyanto / 915230092
5. Lokasi Kegiatan Penelitian : Jakarta
6. Luaran yang dihasilkan : Jurnal Nasional Terakreditasi
7. Jangka waktu Pelaksanaan : Periode II (Juli-Desember 2023)
8. Biaya yang diajukan ke LPPM : Rp. 17.500.000,-

Mengetahui,  
Ketua LPPM

Jakarta, 4 Januari 2024

Ketua Tim



Ir. Jap Tji Beng, MMSI, M.Psi., Ph.D., P.E., M.ASCE.  
0323085501 / 10381047

Dr. Ir. Henny Wiyanto, M.T.  
0316106907 / 10393041

## RINGKASAN

Kerusakan bangunan beroperasi umumnya disebabkan oleh umur bangunan yang sudah tua atau terjadi bencana alam seperti gempa bumi atau kebakaran. Penilaian kerusakan bangunan bertujuan untuk memperkirakan risiko struktural dalam hal modifikasi kapasitas daya dukung bangunan sehubungan dengan keadaan awal sebagai acuan. Dalam tahap operasional bangunan, penilaian terhadap kondisi bangunan *existing* (bangunan yang sedang beroperasi/tahap operasional) telah dilakukan. Penilaian ini merupakan bagian dari pengendalian mutu konstruksi terkait kelaikan fungsi bangunan gedung. Kerusakan bangunan tidak dapat dihindarkan seiring dengan berjalannya waktu yang disebabkan oleh banyak faktor lingkungan dan alam. Kerusakan-kerusakan yang terjadi pada komponen struktur dapat mengurangi keamanan pengguna bangunan. Dalam pelaksanaan penilaian belum ada metode penilaian yang cocok dan aplikatif untuk digunakan di wilayah Indonesia. Jadi pada saat akan melakukan penilaian harus mencari peraturan dan ketentuan terkait kerusakan terlebih dahulu. Hasil penelusuran penelitian dilakukan untuk mendapatkan nilai tingkat kondisi kerusakan beton untuk masing-masing jenis kerusakan beton. Berdasarkan kebutuhan di lapangan perlu dilakukan penelitian untuk menghasilkan metode penilaian kerusakan beton yang lebih aplikatif untuk bangunan gedung *existing* yang berbasis pengujian mutu beton berupa pengujian kuat tekan beton. Langkah ini dilakukan untuk mengakomodasi permasalahan yang terjadi di lapangan dan untuk mencapai tujuan penelitian yang sekaligus menjadi kebaharuan (*novelty*) penelitian ini. Untuk itu perlu dilakukan penetapan kategori tingkat risiko kerusakan beton untuk setiap elemen struktur berbasis pengujian kuat tekan beton, serta penetapan tindak lanjut yang sesuai pada setiap kategori kerusakan beton agar perbaikan kerusakan beton dapat lebih efisien. Penelitian diharapkan menghasilkan acuan penilaian tingkat risiko kerusakan beton yang bersifat kuantitatif yang dapat diaplikasikan pada bangunan gedung *existing* di Indonesia.

**Kata Kunci:** Kategorisasi, tingkat risiko, kerusakan beton, pengujian kuat tekan beton, gedung *existing*.

## PRAKATA

Penilaian kerusakan beton merupakan penilaian yang mulai banyak dilakukan pada struktur bangunan, baik bangunan baru yang sedang dibangun maupun bangunan *existing* (bangunan yang sedang beroperasi). Untuk melakukan penilaian kerusakan beton dibutuhkan metode penilaian yang dapat diterapkan di lapangan. Metode penilaian kerusakan beton yang berbasis pengujian kuat tekan beton merupakan langkah yang dapat dilakukan untuk menetapkan penilaian kerusakan beton pada struktur bangunan gedung. Kerusakan yang terjadi pada struktur beton akan menimbulkan tingkat risiko yang berbeda pada masing-masing elemen struktur gedung.

Penelitian ini dilakukan guna mengetahui tingkat risiko kerusakan beton berbasis pengujian kuat tekan beton pada setiap elemen struktur gedung *existing*. Manfaat yang diperoleh adalah dapat menilai kelayakan kondisi bangunan pada tahap operasional bangunan.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada:

1. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Tarumanagara yang telah membiayai penelitian ini.
2. Fakultas Teknik dan Fakultas Ilmu Komunikasi yang telah mendukung hingga penelitian ini dapat terselenggara dengan baik.

Akhir kata, semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi sivitas akademika Universitas Tarumanagara dan masyarakat.

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	.....	i
HALAMAN PENGESAHAN	.....	ii
RINGKASAN	.....	iii
PRAKATA	.....	iv
DAFTAR ISI	.....	v
DAFTAR TABEL	.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN	.....	viii
BAB I. PENDAHULUAN		
1.1. Latar Belakang Masalah	.....	1
1.2. Rumusan Masalah	.....	6
1.3. Tujuan Penelitian	.....	6
1.4. Batasan Penelitian	.....	7
1.5. Manfaat Penelitian	.....	7
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	.....	8
2.1. Kerusakan Bangunan	.....	8
2.2. Metode Penilaian Kerusakan Bangunan	.....	10
BAB III. METODE PENELITIAN		
3.1. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian	.....	13
3.2. Pelaksanaan Penelitian	.....	14
3.2.1. Pengumpulan Data	.....	14
3.2.2. Peralatan yang digunakan	.....	14
3.2.3. Analisis Data	.....	15
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1. Menetapkan Tingkat Kondisi Kerusakan Beton	.....	17
4.2. Menetapkan Bobot Kekritisian Elemen Struktur	.....	17
4.3. Menetapkan Skala Acuan Kategori Tingkat Kondisi Berbasis Pengujian Kuat Tekan Beton	.....	18
4.4. Menetapkan Tingkat Risiko Kerusakan Beton	.....	18
4.5. Menetapkan Skala Acuan Kategori Tingkat Risiko Kerusakan Beton Berbasis Pengujian Kuat Tekan Beton	.....	19

4.6. Menetapkan Tingkat Risiko Kerusakan Beton Setiap Elemen Struktural	19
4.7. Validasi Hasil	21
BAB IV. KESIMPULAN DAN SARAN	
4.1. Kesimpulan	22
4.2. Saran	22
DAFTAR PUSTAKA	23
LAMPIRAN	

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Tingkat kondisi kerusakan beton.....	17
Tabel 4.2. Bobot kekritisian elemen struktur.....	17
Tabel 4.3. Kategori Tingkat Kondisi Berbasis Pengujian Kuat Tekan Beton.....	18
Tabel 4.4. Tingkat kondisi kerusakan beton .....	18
Tabel 4.5. Kategori Tingkat Risiko Berbasis Pengujian Tekan Beton .....	19
Tabel 4.6. Kategori Tingkat Risiko Berbasis Pengujian Tekan Beton Untuk Shear Wall dan Kolom.....	20
Tabel 4.7. Kategori Tingkat Risiko Berbasis Pengujian Tekan Beton Untuk Balok.....	20
Tabel 4.8. Kategori Tingkat Risiko Berbasis Pengujian Tekan Beton Untuk Pelat Lantai.....	21
Tabel 5.1. Kategori Tingkat Risiko Elemen Struktur Gedung Existing .....	22

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Susunan Personalia Peneliti
Lampiran 2	Artikel Ilmiah
Lampiran 3	Hak Cipta

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang Masalah

Kerusakan bangunan beroperasi umumnya disebabkan oleh umur bangunan yang sudah tua atau terjadi bencana alam seperti gempa bumi atau kebakaran. Penilaian kerusakan bangunan bertujuan untuk memperkirakan risiko struktural dan non struktural dalam hal modifikasi kapasitas daya dukung bangunan sehubungan dengan keadaan awal sebagai acuan. Dalam tahap operasional bangunan, penilaian terhadap kondisi bangunan *existing* (bangunan yang sedang beroperasi/tahap operasional) telah dilakukan. Penilaian ini merupakan bagian dari pengendalian mutu konstruksi terkait kelaikan fungsi bangunan gedung. Kerusakan bangunan tidak dapat dihindarkan seiring dengan berjalannya waktu yang disebabkan oleh banyak factor lingkungan dan alam. Kerusakan-kerusakan yang terjadi pada pada komponen struktur dapat mengurangi keamanan pengguna bangunan.

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 27/PRT/M/2018, bangunan gedung yang sudah ada (*existing*) merupakan:

- Bangunan gedung yang telah dimanfaatkan.
- Bangunan Gedung yang telah dilakukan serah terima akhir (*final hand over*) dalam hal pelaksanaan konstruksi Bangunan Gedung menggunakan penyedia jasa.
- Bangunan Gedung yang telah terbangun lebih dari 1 (satu) tahun dalam hal pelaksanaan konstruksi Bangunan Gedung tidak menggunakan penyedia jasa.

Pemeriksaan kondisi struktur bangunan dilakukan melalui dua tahapan yaitu pemeriksaan awal dan pemeriksaan detail struktur. Pada tahap pemeriksaan awal dilakukan kajian dokumentasi teknis dan inspeksi visual. Sedangkan pada tahap pemeriksaan detail dilakukan pengujian yang terdiri dari pengujian destruktif dan pengujian non-destruktif, evaluasi hasil uji, hingga pemodelan dan analisis kapasitas struktur. Saat ini, sudah ada banyak manual yang membahas mengenai pengujian beton baik destruktif maupun non-destruktif namun belum ada acuan yang membahas mengenai inspeksi visual dan penilaian kondisi struktur bangunan (Wuryanti, 2013). Inspeksi visual merupakan tahap

awal yang penting karena pada tahap ini akan banyak informasi yang diperoleh mengenai kondisi struktur aktual. Sedangkan pada pengujian akan diperoleh data yang akan menjadi data pendukung dari inspeksi visual.

FEMA 356 menyatakan penilaian kondisi struktur dan non struktur untuk bangunan gedung *existing* dengan berbagai jenis dan tingkat kerusakan. SEI/ASCE 11-99 menyatakan bahwa pada bangunan gedung terbangun dilakukan penilaian kondisi material bangunan dengan metode pemeriksaan visual, evaluasi pengujian non-destruktif, dan pengujian destruktif termasuk prosedur lapangan dan laboratorium.

Berdasarkan Peraturan Menteri PUPR RI No.27/PRT/M/2018 pemeriksaan kelaikan fungsi bangunan gedung dilakukan guna penilaian tingkat keandalan bangunan gedung pada masa pascabencana dan masa pemanfaatan bangunan gedung. Persyaratan kelaikan fungsi bangunan gedung meliputi persyaratan administratif dan teknis. Persyaratan teknis bangunan gedung meliputi persyaratan tata bangunan dan keandalan bangunan. Persyaratan teknis bangunan mengikuti ketentuan peraturan perundang-undangan dan standar teknis. Standar teknis meliputi Standar Nasional Indonesia dan Standar Internasional. Persyaratan keandalan bangunan meliputi persyaratan keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan kemudahan. Persyaratan keselamatan meliputi persyaratan struktur bangunan gedung. Keandalan bangunan gedung adalah kondisi keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan kemudahan yang memenuhi persyaratan teknis oleh kinerja bangunan gedung. Penilaian keandalan bangunan ini bermanfaat untuk kepengurusan Sertifikat Laik Fungsi (SLF), audit, forensik, dan pemeliharaan bangunan.

Praktik penilaian sudah dilakukan oleh perorangan atau perusahaan, tetapi ada kendala di lapangan pada saat melakukan penilaian tersebut, yaitu:

1. Belum ada acuan penilaian yang mendefinisikan metode penilaian dengan jelas.  
“Pemeriksaan keandalan struktur bangunan gedung *existing* dapat ditempuh melalui dua tahap, yaitu pemeriksaan awal melalui pemeriksaan visual dan pemeriksaan detail melalui serangkaian pengujian sebelum disimpulkan dalam penilaian keandalan. Sampai pada tahap pengujian telah tersedia beberapa standar dan manual yang dapat digunakan sebagai acuan. Tetapi sampai saat ini belum ada acuan standar atau

pedoman teknis untuk pemeriksaan dan penilaian keandalan struktur. Kekosongan peraturan ini selalu disikapi dengan penilaian deskriptif berdasarkan kebiasaan penyelenggaraan kegiatan pemeriksaan. Konsekuensinya terjadi penilaian deskriptif tanpa referensi kuantitatif yang terukur dengan jelas. Ketidakjelasan acuan penilaian tentu menyulitkan pengambil keputusan dalam mempertanggungjawabkan hasil pemeriksaan bangunan” (Wuryanti, 2013). Sampai saat ini masih belum ada acuan standard, sehingga penilaian masih dilakukan secara deskriptif. Untuk itu penelitian ini akan memberikan usulan model penilaian keandalan struktur.

2. Penilaian yang dilakukan berbeda-beda dan seringkali menjadi perdebatan di lapangan, karena penilaian dilakukan berdasarkan pendapat penilai.
3. Belum ada alat ukur yang dapat diterima secara umum di Indonesia.

Berdasarkan penjabaran diatas, maka muncul pemikiran untuk melakukan penelitian yang menghasilkan suatu penilaian kondisi kerusakan beton yang aplikatif pada struktur bangunan gedung. Wiyanto, et all telah melakukan penelitian yang menghasilkan metode penilaian tingkat kondisi kerusakan beton yang dapat digunakan pada bangunan Gedung *existing* di wilayah Indonesia. Metode penilaian tingkat kondisi kerusakan beton hasil penelitian ini masih terus dikembangkan agar dapat menghasilkan suatu metode penilaian kondisi kerusakan beton yang aplikatif.

Studi literatur mengenai penelitian-penelitian sejenis telah dilakukan. Penelitian-penelitian yang terkait dengan penelitian ini adalah:

Penelitian Wijaya et al. (2014) menggunakan jenis kerusakan seperti pada FEMA 356 dan ditambahkan dengan prosentase banyaknya kerusakan yang terjadi pada suatu bangunan. FEMA 356 (2000) menetapkan jenis-jenis kerusakan struktur dan non struktur bangunan gedung *existing* akibat gempa yang dinilai secara visual.

Penelitian “*Decision Model for Repair Prioritization of Reinforced-Concrete Structures*” (Tirpude, et al., 2014), membahas penilaian skala prioritas perbaikan struktur beton bertulang pada bangunan gedung *existing*. Penentuan skala prioritas didasarkan pada penilaian visual dan pengujian nondestruktif berupa Hammer Test, USPV, HCP, dan Carbonation. Penilaian menggunakan enam *rating* dari terendah (kondisi yang tidak

memerlukan perbaikan) hingga *rating* tertinggi (kondisi yang harus segera dilakukan tindakan). Pembagian *rating* ditentukan berdasarkan prioritas perbaikan beton. Hasil penelitian berupa model keputusan prioritas perbaikan gedung.

Penelitian “*Fuzzy Logic Approach to Risk Assessment Associated with Concrete Deterioration*” (Malek, et al., 2015), membahas penilaian tingkat risiko kerusakan beton pada bangunan gedung *existing*. Penilaian tingkat risiko kerusakan beton ditentukan berdasarkan hasil pengujian nondestruktif berupa *Hammer Test*. Tingkat kerusakan beton dibagi menjadi 4 kategori yaitu kategori terendah (sangat buruk) sampai kategori tertinggi (sangat baik). Pembagian kategori ditentukan berdasarkan nilai *rebound*. Hasil penelitian menunjukkan tingkat risiko kerusakan beton.

Penelitian “*Visual Inspection and Non-Destructive Tests-Based Rating Method for Concrete Bridges*” (Pushpakumara, et al., 2017), membahas penilaian kondisi jembatan dan pengambilan keputusan mengenai perbaikan yang sesuai. Penilaian dilakukan dengan pemeriksaan visual dan pengujian nondestruktif. Indeks kondisi jembatan ditentukan dengan menambahkan *Element Significant Factor (ESF)*, *Element Construction Type Factor (ECTF)*, dan *Causal Factor (CF)*. Untuk menentukan bobot prioritas digunakan metode *Analytical Hierarchy Process (AHP)*. Hasil penelitian menunjukkan tingkat kelaikan jembatan yang digunakan untuk menentukan rencana perbaikan jembatan.

Penelitian “*Deterioration Assessment of Infrastructure Using Fuzzy Logic and Image Processing Algorithm*” (Pragalath et al., 2018), membahas tentang penilaian kerusakan beton infrastruktur yang dibantu pendeteksian retaknya dengan basis pemrosesan gambar. Hasil penelitian ini menunjukkan kondisi kerusakan beton aktual dengan hasil pemrosesan gambar.

Penelitian “*Structural Damage Assessment Criteria for Reinforced Concrete Buildings by Using a Fuzzy Analytic Hierarchy Process*” (Hamdia et al., 2018), membahas tentang penentuan kriteria penilaian struktur beton pada bangunan gedung berbasis Fuzzy. Kriteria penilaian didasarkan pada pemeriksaan visual dan pengukuran sederhana yang tidak memerlukan pengujian khusus atau penyelidikan jangka panjang. Kriteria penilaian

utama meliputi keadaan sejarah bangunan, keadaan lingkungan, kapasitas struktural, daya tahan, dan keterlibatan profesional dalam konstruksi. Setiap kriteria memiliki dua tingkatan subkriteria. Bobot kriteria diperoleh berdasarkan pendapat para ahli yang diproses dengan metode Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP). Hasil penelitian menunjukkan tingkat kepentingan kriteria penilaian.

Penelitian “*Building condition assessment: adjustments of the Building Performance Indicator (BPI) for university buildings in Brazil*” (Leite et al, 2020), membahas tentang penilaian kondisi bangunan dengan metode Building Performance Indicator (BPI). Penilaian dilakukan berdasarkan penilaiannya visual pada elemen bangunan, jumlah kerusakan yang terjadi pada bangunan, dan frekuensi perbaikan atau pencegahan yang dilakukan pada bangunan. Penilaian visual dibagi menjadi lima tingkatan yaitu sangat baik sampai berbahaya.

Penelitian “*Building Condition Assessment (BCA) on school building in Sabah, Malaysia*” membahas tentang penilaian kondisi bangunan berdasarkan standar Building Condition Assessment (BCA) yang dikeluarkan oleh Public Work Department of Malaysia tahun 2013. Penilaian kondisi bangunan ditetapkan dari kondisi fisik bangunan dan tindakan perawatan bangunan. Kondisi fisik bangunan dinilai dengan pemeriksaan visual menggunakan lima tingkatan kondisi yaitu sangat baik sampai sangat buruk.

Penelitian “*Condition Rating Examination Based on Visual Assessment of Concrete Damage Caused By Poor Implementation*” (Wiyanto et al, 2020), membahas tentang penilaian tingkat kondisi kerusakan beton berbasis pemeriksaan visual akibat pelaksanaan yang kurang baik. Penilaian menggunakan lima tingkat kondisi yaitu sangat baik sampai sangat buruk.

Penelitian “*Local and Global Condition Rating Determination for Concrete Damage Based on Visual Assessment*” (Wiyanto et al, 2021) membahas tentang penilaian tingkat kondisi kerusakan beton lokal dan global yang berbasis penilaian visual pada bangunan gedung *existing*. Penilaian menggunakan lima tingkat kondisi yaitu sangat baik sampai sangat buruk.

Penelitian “*Determining Concrete Structure Condition Rating Based on Concrete Compressive Strength*” (Wiyanto et al, 2022) membahas tentang penilaian tingkat kondisi kerusakan struktur beton yang berbasis pengujian kuat tekan beton pada bangunan gedung *existing*. Penilaian menggunakan lima tingkat kondisi yaitu sangat baik sampai sangat buruk.

Dari hasil penelusuran penelitian dilakukan untuk mendapatkan nilai tingkat kondisi kerusakan beton untuk masing-masing jenis kerusakan beton. Berdasarkan kebutuhan di lapangan perlu dilakukan penelitian untuk menghasilkan metode penilaian kerusakan beton yang lebih aplikatif untuk bangunan gedung *existing* yang berbasis pemeriksaan visual. Langkah ini dilakukan untuk mengakomodasi permasalahan tersebut dan untuk mencapai tujuan penelitian yang sekaligus menjadi kebaruaruan (*novelty*) pada penelitian ini.

Penelitian masih perlu dikembangkan kearah penetapan kategori kerusakan beton untuk setiap elemen struktur, serta penetapan tindak lanjut yang sesuai pada setiap kategori kerusakan beton agar perbaikan kerusakan beton dapat lebih efisien. Dengan demikian perlu dilakukan penelitian mengenai kategorisasi kerusakan beton untuk setiap elemen struktur gedung *existing*. Pada kesempatan ini penelitian dilakukan untuk kategorisasi tingkat risiko kerusakan beton berbasis pengujian kuat tekan beton untuk setiap elemen struktur gedung *existing*.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumuskan masalah adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menetapkan skala acuan tingkat risiko kerusakan beton berdasarkan pengujian kuat tekan beton pada setiap elemen struktur gedung *existing*?
2. Bagaimana mengkategorisasikan nilai tingkat risiko kerusakan beton berdasarkan pengujian kuat tekan beton pada setiap elemen struktur gedung *existing*?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan latar belakang masalah maka penelitian mempunyai tujuan sebagai berikut:

1. Menetapkan skala acuan tingkat risiko kerusakan beton berdasarkan pengujian kuat tekan beton pada setiap elemen struktur gedung *existing*.
2. mengkategorisasikan nilai tingkat risiko kerusakan beton berdasarkan pengujian kuat tekan beton pada setiap elemen struktur gedung *existing*.

#### **1.4 Batasan Penelitian**

Dengan adanya keterbatasan waktu dan sumber daya maka penelitian dibatasi pada beberapa hal, yaitu:

- a. Kerusakan beton yang ditinjau adalah degradasi mutu beton yang diakibatkan oleh pelaksanaan konstruksi yang kurang baik.
- b. Kategori kerusakan beton ditinjau dari nilai kuat tekan beton lapangan.
- c. Bangunan yang ditinjau adalah bangunan gedung *existing*.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penilaian kondisi struktur gedung *existing* merupakan penilaian yang mulai banyak dilakukan pada bangunan Gedung *existing* (bangunan yang sedang beroperasi). Saat ini belum ada acuan penilaian yang bersifat kuantitatif dan aplikatif untuk diterapkan di Indonesia. Dengan adanya pengembangan metode penilaian kerusakan beton untuk struktur Gedung *Existing* ini, maka akan dihasilkan acuan penilaian kerusakan beton yang bersifat kuantitatif yang dapat diaplikasikan pada struktur Gedung *Existing*.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Berdasarkan uraian latar belakang masalah dapat dilihat bahwa dalam praktik penilaian kondisi beton untuk bangunan gedung *existing* sudah lama dilakukan, tetapi terdapat permasalahan dalam pelaksanaannya, yaitu:

1. Penilaian bersifat subjektif dari penilai sehingga seringkali terjadi perdebatan hasil penilaian di lapangan. Banyak yang mempertanyakan bagaimana merumuskan penilaian hasil pemeriksaan visual serta pengujian, karena hasil penilaian tidak dapat memberikan ukuran tingkat kondisinya.
2. Belum ada skala perbandingan tingkat kondisi beton dalam melakukan penilaian kondisi beton.
3. Hasil penilaian umumnya disampaikan berupa rekomendasi hasil pemeriksaan yang menjabarkan kondisi bangunan gedung *existing* secara deskriptif tanpa ada ukuran yang jelas.
4. Belum ada acuan dalam menentukan tingkat kondisi beton. Acuan yang ada saat ini hanya untuk kebutuhan proses pengujian, bukan untuk proses penilaian kondisi beton.

Permasalahan tersebut menjadi dasar bahwa skala tingkat kondisi beton yang memiliki acuan jelas sangat dibutuhkan untuk melakukan penilaian kondisi beton di Indonesia. Permasalahan yang terjadi di lapangan tersebut merupakan celah fisik yang menjadi peluang untuk mengembangkan metode penilaian kondisi beton berbasis pemeriksaan visual yang aplikatif untuk bangunan gedung *existing* yang sesuai dengan kondisi di Indonesia. Langkah ini merupakan Langkah untuk mengakomodasi permasalahan di lapangan dan untuk mencapai tujuan penelitian yang sekaligus menjadi kebaruan (*novelty*) pada penelitian ini.

#### **2.1. Kerusakan Bangunan**

Kerusakan bangunan gedung dapat diartikan adanya suatu perubahan kondisi komponen terkait dengan kualitas kondisi awal. Perubahan ini dapat diakibatkan oleh berbagai hal,

seperti kesalahan pada proses pelaksanaan pembangunan, kesalahan pada penggunaan bangunan seperti kelebihan beban (beban tidak sesuai dengan rencana), perubahan fungsi bangunan, tidak ada perawatan bangunan yang baik dan benar, kondisi lingkungan, dan bencana alam. Seiring berjalannya waktu dengan berbagai kondisi alam maka bangunan dapat mengalami kerusakan pada bagian strukturnya.

ATC-58 (2007) menyatakan bahwa “kerusakan bangunan akibat gempa tergantung pada intensitas guncangan tanah dan bahaya seismik lainnya di lokasi bangunan dan kerentanan bangunan terhadap kerusakan. Intensitas adalah ukuran kuantitatif dari efek gempa bumi di lokasi bangunan dan tergantung pada sejumlah parameter termasuk besarnya gempa bumi, karakteristik retak, jarak dari lokasi ke bidang retak, geologi regional dan kondisi tanah setempat. Kerentanan bangunan terhadap kerusakan tergantung pada banyak faktor, termasuk jenis sistem struktural dan kekuatannya, kekakuan dan keuletannya, jenis sistem pondasi, usia konstruksi, kondisi fisik struktur pada saat gempa, serta jenis, lokasi, dan kualitas sistem arsitektur, mekanis, listrik, dan plumbing, serta konten bangunan”.

Mitra et al. (2010) menyatakan bahwa kerusakan pada beton bertulang disebabkan oleh beberapa faktor yaitu paparan zat berbahaya dari lingkungan, praktik konstruksi yang tidak memadai, dan sifat tarik yang lemah dari beton. MAPEI (2011), menyatakan bahwa “degradasi mutu beton disebabkan oleh empat faktor utama yaitu faktor kimia, fisik, mekanis, dan cacat. Serangan dari bahan kimia adalah serangan karbon dioksida, sulfat, klorida, dan reaksi agregat alkali. Serangan dari elemen fisik adalah pembekuan dan pencairan, suhu tinggi, serta penyusutan dan retak. Serangan dari elemen mekanis adalah abrasi, dampak, erosi, dan kavitas. Cacat terjadi jika salah satu unsur yang digunakan untuk membentuk beton tidak benar. Cacat dibagi menjadi tiga kategori yaitu kerusakan karena kesalahan campuran, kerusakan karena komposisi yang salah, dan kerusakan karena pemasangan yang salah/kualitas buruk”. Beberapa hal yang menjadi penyebab kerusakan struktur bangunan dapat juga menyebabkan kerusakan pada komponen non struktur bangunan khususnya gedung *existing*.

## 2.2. Metode Penilaian Kerusakan Bangunan

Secara umum paparan kondisi lingkungan yang keras dan beban bangunan serta bencana merupakan penyebab utama dari rusaknya komponen struktur dan non struktur. Beberapa proses yang relevan mengenai mekanisme penurunan mutu beton telah diidentifikasi. Seiring dengan berkembangannya zaman, kemajuan besar telah dibuat untuk mempelajari dan memahami implikasi dari mekanisme penurunan mutu beton pada kondisi struktural. Beberapa teknik yang telah dikembangkan untuk membantu penilaian terhadap penurunan mutu kondisi struktur beton bertulang. Teknik-teknik yang secara umum dapat dilakukan adalah sebagai berikut (Tirpude, 2014):

### 1. Inspeksi Visual

Teknik dasar untuk melakukan identifikasi kerusakan beton berdasarkan pada kerusakan yang dapat dilihat secara visual.

### 2. Investigasi Experimental

Teknik umum yang dapat dilakukan untuk menilai kekuatan dan/atau kekuatan beton.

### 3. Investigasi Experimental Khusus (spesifik)

Teknik untuk menilai tingkat/risiko yang terkait dengan mekanisme deteriorasi tertentu.

#### • Inspeksi Visual (*Visual Assessment*)

Pemeriksaan visual adalah pemeriksaan beton untuk mengidentifikasi dan mendefinisikan berbagai kondisi beton yang dapat dilihat selama masa kerjanya. Pemeriksaan visual biasanya terbatas pada permukaan struktur beton yang dapat diakses secara visual. Pemeriksaan visual memberikan informasi penting tentang kinerja dan daya tahan struktur (ACI 201.1R-08, 2008). Pemeriksaan visual merupakan langkah awal yang baik untuk menilai kondisi kerusakan struktur beton.

Pengamatan visual merupakan salah satu metode untuk menentukan penilaian risiko kerusakan beton. *Visual assessment* sendiri memerlukan pengambilan data dengan cara inspeksi visual (*visual inspection*). Menurut ACI 201.1R-08 (2008), Inspeksi visual memberikan informasi penting tentang kinerja dan daya tahan struktur. Dalam struktur yang memburuk, beberapa *distress* yang terlihat dapat berkembang seiring waktu, umumnya yang terdeteksi adalah retakan, *spalling*, *leaching*, *delamination*, dan

*efflorescence* (Jain and Bhattacharjee, 2012). Inspeksi visual memungkinkan dengan cepat dan masuk akal perkiraan kondisi kualitatif, yang menunjukkan bahwa inspeksi visual juga dapat digunakan dalam perencanaan, strategi investigasi untuk mengoptimalkan upaya yang diperlukan dalam penyelidikan. Pemeriksaan visual dapat digunakan dalam strategi investigasi untuk mengoptimalkan upaya yang diperlukan dalam penyelidikan. Pola retak permukaan, pengupasan, retak, dan lainnya dapat berfungsi sebagai atribut visual yang penting untuk penilaian awal berbagai *distress* (Mitra, et al., 2010). Beberapa skala penilaian kondisi telah dikembangkan di seluruh dunia untuk mengatasi sifat kualitatif dari kondisi berbasis penilaian inspeksi visual. Skala ini biasanya memberikan kondisi yang terukur untuk *distress*, kerusakan, dan kebutuhan perbaikan yang sesuai (Jain and Bhattacharjee, 2012).

FEMA 356 (2000) menilai kerusakan pada komponen struktur dan non struktur bangunan gedung existing secara visual akibat gempa. Wijaya et al. (2014) menilai kerusakan beton pada jenis kerusakan retak seperti pada FEMA dan menambahkannya dengan besar kerusakan berat yang terjadi pada bangunan.

- **Investigasi Eksperimental**

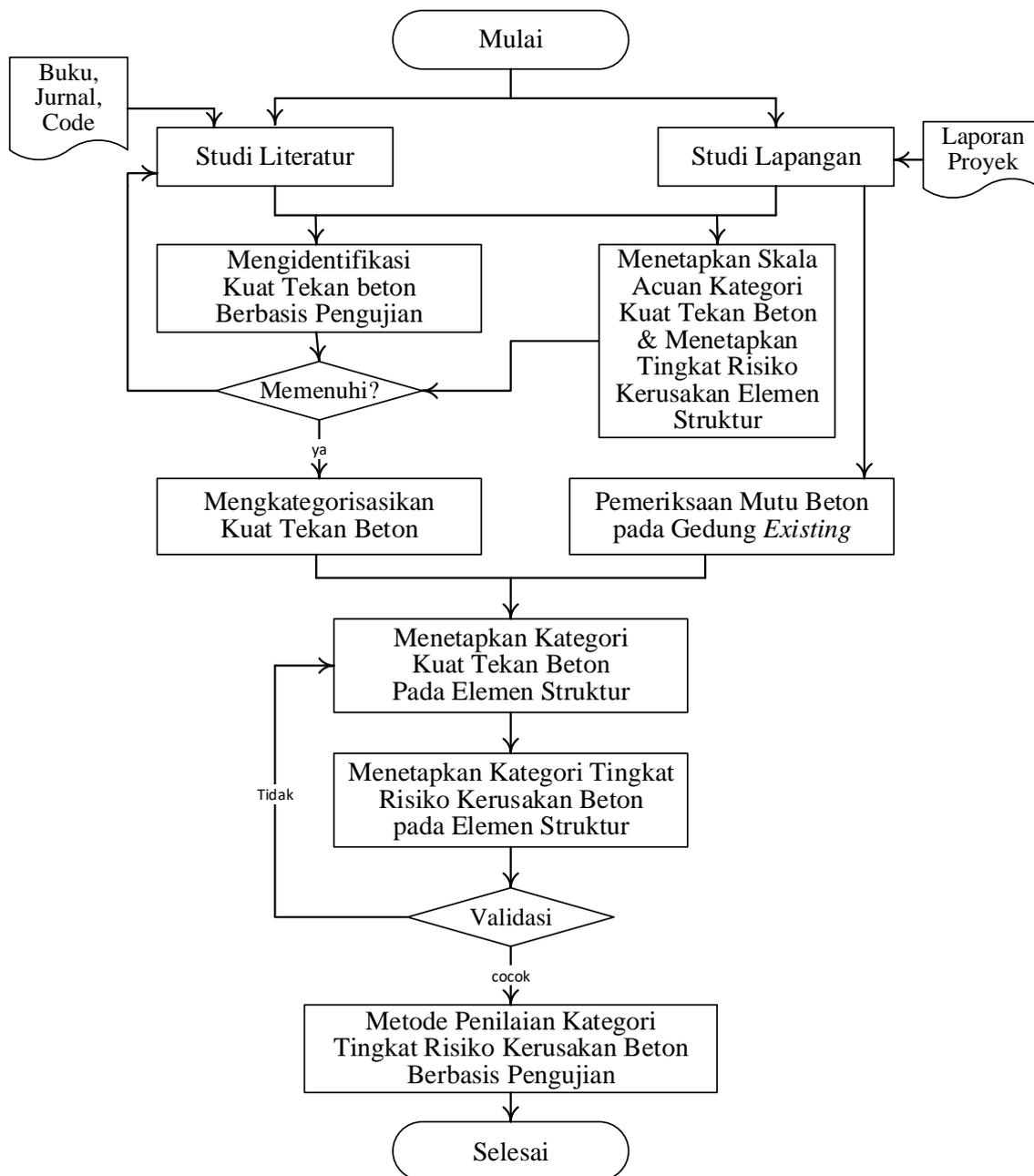
Salah satu metode investigasi eksperimental dalam menilai kekuatan beton adalah pengujian terhadap benda uji beton pada saat akan dilakukan pengecoran pada setiap bagian struktur bangunan. Kuat tekan beban beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Pengujian dilakukan terhadap beton segar (*fresh concrete*) yang mewakili campuran beton dalam bentuk benda uji yang dapat berwujud silinder ataupun kubus. Hasil pengujian ini dapat digunakan dalam pekerjaan perencanaan campuran beton, dan pengendalian mutu beton pada pelaksanaan pembetonan. Pengujian harus dilakukan dengan mengikuti prosedur pengujian yang benar sesuai peraturan yang berlaku untuk masing-masing jenis pengujian. Hasil pengujian menunjukkan nilai kuat tekan dengan prosedur yang benar. Metode pengujian kuat tekan beton dimaksudkan sebagai pegangan dalam pengujian ini untuk menentukan kuat tekan (*compressive strength*) beton dengan benda uji berbentuk silinder yang dibuat dan dimatangkan (*curing*) di laboratorium maupun di lapangan.

Dalam pelaksanaannya ada dua jenis pengujian yaitu pengujian non-destruktif dan pengujian destruktif. Pengujian non-destruktif atau pengujian yang tidak merusak adalah penilaian terhadap bahan, komponen, atau sistem tanpa mengubah properti atau mengganggu layanan di masa depan (SEI/ASCE 11-99, 2000). Pengujian ini dilakukan pada permukaan beton, sehingga tidak merusak struktur beton. Metode *Non-destructive Test* (NDT) digunakan untuk menentukan sifat beton yang dikeraskan dan untuk mengevaluasi kondisi beton di pondasi dalam, jembatan, bangunan, trotoar, bendungan dan konstruksi beton lainnya. Pengujian non-destruktif didefinisikan sebagai pengujian yang tidak menyebabkan kerusakan signifikan secara struktural pada beton (ACI 228.2R-13, 2013). Pengujian *destructive* atau pengujian yang merusak adalah proses mengamati, memeriksa, dan/atau mengukur sifat-sifat bahan, komponen, atau sistem dengan cara yang dapat mengubah, merusak, atau menghancurkan sifat-sifat tersebut atau memengaruhi masa kerja spesimen uji. Pengujian destruktif dapat dilakukan terhadap bagian bangunan di lapangan atau pengambilan sampel dan diuji di laboratorium (SEI/ASCE 11-99, 2000). Pengujian ini dilakukan pada badan beton, sehingga pengujian ini akan merusak struktur beton.

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada diagram alir (Gambar 3.1.).



Gambar 3.1. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

## **3.2. Pelaksanaan Penelitian**

### **3.2.1. Pengumpulan Data**

Metode pengumpulan data merupakan cara kerja yang bersistem untuk memudahkan pelaksanaan penelitian guna memperoleh data yang dibutuhkan untuk menjawab masalah penelitian. Metode pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan Langkah berikut:

Pengumpulan data primer meliputi:

- Survey lapangan
- Menentukan gedung *existing* yang akan dinilai.
- Melakukan pemeriksaan kondisi kerusakan gedung *existing* pada seluruh elemen struktur gedung.
- Melakukan pengujian kuat tekan beton pada elemen struktur gedung *existing*.
- Mencatat data kerusakan beton pada elemen struktur gedung *existing*.
- Mendokumentasikan data hasil pemeriksaan.

Pengumpulan data sekunder meliputi:

- Mengajukan surat permohonan data kerusakan bangunan gedung *existing* ke Konsultan Penilai.
- Memilah data kerusakan beton gedung *existing*.
- Mencatat data kerusakan beton pada elemen struktur gedung *existing* dan langkah perbaikannya.
- Mendokumentasikan data hasil pemeriksaan.

Bangunan gedung *existing* yang menjadi objek dalam penelitian ini adalah bangunan gedung bertingkat tinggi.

Pengumpulan data dilakukan dengan pengujian lapangan berupa pengujian kuat tekan beton, yaitu memeriksa, menguji, mencatat, dan mendokumentasikan dengan kamera mengenai kondisi fisik bangunan pada semua komponen struktur bangunan secara rinci.

### **3.2.2. Peralatan yang digunakan**

Peralatan yang digunakan pada proses pengumpulan data primer dan data sekunder adalah sebagai berikut:

1. Alat uji kuat tekan beton, yaitu Hammer Test dan UPV test.
2. Kamera
3. Binocular
4. Tangga lipat minimal Panjang 4 m
5. Alat tulis
6. Formulir Penilaian
7. Flashdisk
8. Laptop

### **3.2.3. Analisis Data**

Metode analisis data adalah cara atau langkah yang digunakan untuk mengolah dan menganalisis data penelitian yang sudah dikumpulkan. Untuk menjawab tujuan penelitian dan permasalahan penelitian ini, maka langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Melakukan studi literatur mengenai pemeriksaan pada gedung *existing*.
2. Melakukan studi lapangan mengenai pengujian kuat tekan beton pada elemen struktur gedung *existing* di lapangan.  
Pengujian dilakukan dengan metode tidak merusak atau pengujian non-destruktif.
3. Menetapkan Tingkat kondisi yang dibagi menjadi lima tingkat kondisi yang harus disesuaikan dengan tingkat kondisi pada penilaian pengujian berbasis pengujian kuat tekan beton dengan penilaian berbasis pemeriksaan visual.
4. Menentukan bobot kekritisian untuk setiap elemen struktur gedung *existing*. Setiap elemen struktur beton memiliki tingkat kekritisian yang berbeda-beda pada saat mengalami kerusakan dengan jenis yang sama. Elemen struktur beton dibagi menjadi empat bagian.
5. Menetapkan skala acuan kategori tingkat kondisi berbasis pengujian kuat tekan beton pada struktur gedung *existing*. Batas kuat tekan beton ditetapkan dengan menggunakan perbandingan antara kuat tekan beton lapangan terhadap kuat tekan beton rencana/desain.
6. Menetapkan tingkat risiko yang dibagi menjadi lima tingkat risiko yang harus disesuaikan dengan tingkat risiko pada penilaian berbasis pengujian kuat tekan beton dengan penilaian berbasis pemeriksaan visual.

7. Menetapkan skala acuan kategori tingkat risiko kerusakan beton berbasis pengujian kuat tekan beton pada gedung *existing*.  
Kategori dibagi menjadi lima tingkat risiko yang harus disesuaikan dengan kategori tingkat risiko pada penilaian berbasis pengujian kuat tekan beton dengan penilaian berbasis pemeriksaan visual.
8. Menetapkan tingkat risiko kerusakan beton untuk setiap elemen struktur Gedung *existing*. Kerusakan beton yang sama dan terjadi pada jenis elemen struktur yang berbeda akan menimbulkan tingkat risiko yang berbeda karena bobot kekritisannya masing-masing elemen struktur berbeda.
9. Melakukan pemeriksaan kuat tekan beton lapangan pada gedung *existing* yang ditinjau (Gedung X). Data ini digunakan untuk menilai tingkat risiko kerusakan beton dengan menggunakan metode yang dihasilkan pada langkah 1 sampai 7.
10. Mengumpulkan data sekunder mengenai pemeriksaan pada gedung *existing*. Data ini digunakan untuk memvalidasi metode yang dihasilkan pada langkah 1 sampai 7.
11. Memeriksa kecukupan data primer (hasil pengujian lapangan) dan data sekunder yang sudah terkumpul.
12. Apabila memenuhi maka dilakukan kategorisasi kuat tekan beton.  
Apabila belum memenuhi maka perlu dilakukan penambahan data yang dibutuhkan.
13. Validasi hasil  
Validasi kategorisasi jenis kerusakan beton yang dihasilkan, dilakukan dengan cara mengaplikasikan data kerusakan beton hasil investigasi dan *assessment* bangunan gedung *existing* yang telah dilakukan oleh konsultan penilai. Penilaian dari metode yang dihasilkan berbentuk deskripsi kategori kerusakan, sedangkan penilaian hasil investigasi dari konsultan penilai berbentuk deskripsi kerusakan. Metode penilaian kerusakan beton yang dihasilkan dianggap valid apabila kategori kerusakan beton dari metode yang dihasilkan cocok dengan hasil investigasi dan *assessment* konsultan penilai yang dilakukan pada bangunan yang dinilai.  
Metode penilaian kerusakan beton yang dihasilkan akan diaplikasikan pada bangunan *existing*.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan berdasarkan metode pengolahan dan analisis data untuk mengembangkan penilaian tingkat risiko kerusakan beton pada struktur bangunan gedung existing.

### 4.1. Menetapkan Tingkat Kondisi Kerusakan Beton

Tingkat kondisi dibagi menjadi lima tingkat kondisi yang harus disesuaikan dengan tingkat kondisi pada penilaian pengujian berbasis pengujian kuat tekan beton dengan penilaian berbasis pemeriksaan visual. Nilai tingkat kondisi kerusakan beton diambil berdasarkan referensi dari Wiyanto et al, 2020 dan 2021 (Tabel 4.1).

Tabel 4.1 Tingkat kondisi kerusakan beton

<b>Tingkat Kondisi</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Kriteria</b>
1	Sangat Baik	Tidak terdapat kerusakan
2	Baik	Terdapat kerusakan ringan
3	Sedang	Terdapat kerusakan sedang
4	Buruk	Terdapat kerusakan berat
5	Sangat Buruk	Terdapat kerusakan sangat berat/kritis

### 4.2. Menetapkan Bobot Kekritisian Elemen Struktur

Bobot kekritisian untuk setiap elemen struktur gedung *existing*. Setiap elemen struktur beton memiliki tingkat kekritisian yang berbeda-beda pada saat mengalami kerusakan dengan jenis yang sama. Elemen struktur beton dibagi menjadi empat bagian seperti pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Bobot kekritisian elemen struktur

<b>Elemen Struktur</b>	<b>Bobot Kekritisian</b>
<i>Shear Wall</i>	1,2
Kolom	1,2
Balok	1
Pelat lantai	0,9

#### 4.3. Menetapkan Skala Acuan Kategori Tingkat Kondisi Berbasis Pengujian Kuat Tekan Beton

Skala acuan kategori tingkat kondisi berbasis pengujian kuat tekan beton pada struktur gedung *existing* seperti pada Tabel 4.3. Batas kuat tekan beton ditetapkan dengan menggunakan perbandingan antara kuat tekan beton lapangan terhadap kuat tekan beton rencana/desain.

Tabel 4.3 Kategori Tingkat Kondisi Berbasis Pengujian Kuat Tekan Beton

Tingkat Kondisi	Deskripsi	Kuat Tekan Beton	Kriteria
1	Sangat Baik	$f'c_{in} \geq 100\% f'c_d$	Tidak terdapat kerusakan
2	Baik	$85\% f'c_d \leq f'c_{in} < 100\% f'c_d$	Terdapat kerusakan ringan
3	Sedang	$75\% f'c_d \leq f'c_{in} < 85\% f'c_d$	Terdapat kerusakan sedang
4	Buruk	$50\% f'c_d \leq f'c_{in} < 75\% f'c_d$	Terdapat kerusakan berat
5	Sangat Buruk	$f'c_{in} < 50\% f'c_d$	Terdapat kerusakan sangat berat/kritis
Keterangan: $f'c_{in}$ : Kekuatan tekan beton lapangan $f'c_d$ : Kekuatan Tekan Beton rencana/desain			

#### 4.4. Menetapkan Tingkat Risiko Kerusakan Beton

Tingkat risiko dibagi menjadi lima tingkat risiko yang harus disesuaikan dengan tingkat risiko pada penilaian berbasis pengujian kuat tekan beton dengan penilaian berbasis pemeriksaan visual. Nilai tingkat risiko kerusakan beton ditetapkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Tingkat kondisi kerusakan beton

Tingkat Risiko	Deskripsi	Kriteria
1	Sangat Rendah	Tidak Berbahaya
2	Rendah	
3	Sedang	Berbahaya
4	Tinggi	Sangat Berbahaya
5	Sangat Tinggi	

#### 4.5. Menetapkan Skala Acuan Kategori Tingkat Risiko Kerusakan Beton Berbasis Pengujian Kuat Tekan Beton

Skala acuan kategori tingkat risiko kerusakan beton berbasis pengujian kuat tekan beton pada gedung *existing*.

Kategori dibagi menjadi lima tingkat risiko yang harus disesuaikan dengan kategori tingkat risiko pada penilaian berbasis pengujian kuat tekan beton dengan penilaian berbasis pemeriksaan visual.

Kategori tingkat risiko kerusakan beton berbasis pengujian kuat tekan beton ditetapkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Kategori Tingkat Risiko Berbasis Pengujian Tekan Beton

Tingkat Risiko	Deskripsi	Kriteria	Tindak Lanjut
1	Sangat Rendah	$f'c_{in} \geq 100\% f'c_d$	Tidak ada tindakan perbaikan, tetapi perlu dilakukan pemeliharaan rutin
2	Rendah	$85\% f'c_d \leq f'c_{in} < 100\% f'c_d$	Perlu tindakan perbaikan dalam lingkup pemeliharaan dan perawatan bangunan
3	Sedang	$75\% f'c_d \leq f'c_{in} < 85\% f'c_d$	Perlu segera dilakukan tindakan pemeriksaan atau pengujian lebih lanjut berupa pengujian destruktif, dan perbaikan
4	Tinggi	$50\% f'c_d \leq f'c_{in} < 75\% f'c_d$	Perlu dilakukan pengujian beban dan desain struktur untuk perkuatan struktur atau pengurangan beban
5	Sangat Tinggi	$f'c_{in} < 50\% f'c_d$	Bangunan tidak dapat digunakan. Tidak dapat dipertahankan atau dibongkar
Keterangan: $f'c_{in}$ : Kekuatan tekan beton lapangan $f'c_d$ : Kekuatan Tekan Beton rencana/desain			

#### 4.6. Menetapkan Tingkat Risiko Kerusakan Beton Setiap Elemen Struktur

Tingkat risiko kerusakan beton untuk setiap elemen struktur Gedung *existing* berbasis pengujian kuat tekan beton ditetapkan pada Tabel 4.6 untuk *shear wall* dan kolom, Tabel 4.7 untuk balok, dan Tabel 4.8 untuk pelat lantai.

Tabel 4.6 Kategori Tingkat Risiko Berbasis Pengujian Tekan Beton  
Untuk Shear Wall dan Kolom

Tingkat Risiko	Kriteria	Kategori	Tindak Lanjut
1	Tidak Berbahaya	$f'c_{in} \geq 90\% f'c_d$	Perlu tindakan perbaikan dalam lingkup pemeliharaan dan perawatan bangunan
2	Berbahaya	$75\% f'c_d \leq f'c_{in} < 90\% f'c_d$	Perlu segera dilakukan tindakan pemeriksaan serta pengujian berupa pengujian destruktif dan perbaikan
3	Sangat Berbahaya	$f'c_{in} < 75\% f'c_d$	Perlu dilakukan pengujian beban dan desain struktur untuk perkuatan struktur atau pengurangan beban, atau bangunan tidak dapat digunakan
Keterangan: $f'c_{in}$ : Kekuatan tekan beton lapangan $f'c_d$ : Kekuatan Tekan Beton rencana/desain			

Tabel 4.7 Kategori Tingkat Risiko Berbasis Pengujian Tekan Beton  
Untuk Balok

Tingkat Risiko	Kriteria	Kategori	Tindak Lanjut
1	Tidak Berbahaya	$f'c_{in} \geq 85\% f'c_d$	Perlu tindakan perbaikan dalam lingkup pemeliharaan dan perawatan bangunan
2	Berbahaya	$50\% f'c_d \leq f'c_{in} < 85\% f'c_d$	Perlu segera dilakukan tindakan pemeriksaan serta pengujian berupa pengujian destruktif dan perbaikan
3	Sangat Berbahaya	$f'c_{in} < 50\% f'c_d$	Perlu dilakukan pengujian beban dan desain struktur untuk perkuatan struktur atau pengurangan beban, atau bangunan tidak dapat digunakan
Keterangan: $f'c_{in}$ : Kekuatan tekan beton lapangan $f'c_d$ : Kekuatan Tekan Beton rencana/desain			

Tabel 4.8 Kategori Tingkat Risiko Berbasis Pengujian Tekan Beton  
Untuk Pelat Lantai

Tingkat Risiko	Deskripsi	Kriteria	Tindak Lanjut
1	Tidak Berbahaya	$f'c_{in} \geq 76,5\% f'c_d$	Perlu tindakan perbaikan dalam lingkup pemeliharaan dan perawatan bangunan
2	Berbahaya	$45\% f'c_d \leq f'c_{in} < 76,5\% f'c_d$	Perlu segera dilakukan tindakan pemeriksaan serta pengujian berupa pengujian destruktif dan perbaikan
3	Sangat Berbahaya	$f'c_{in} < 45\% f'c_d$	Perlu dilakukan pengujian beban dan desain struktur untuk perkuatan struktur atau pengurangan beban, atau bangunan tidak dapat digunakan
Keterangan: $f'c_{in}$ : Kekuatan tekan beton lapangan $f'c_d$ : Kekuatan Tekan Beton rencana/desain			

#### 4.7. Validasi Hasil

Validasi metode penilaian tingkat risiko kerusakan beton yang dihasilkan, dilakukan dengan cara mengaplikasikan data kerusakan beton hasil investigasi dan assessment bangunan gedung existing yang telah dilakukan oleh konsultan penilai pada metode penilaian yang dihasilkan. Penilaian risiko dari metode penetapan tingkat kerusakan yang dihasilkan bersifat kuantitatif, sedangkan penilaian hasil investigasi dari konsultan penilai bersifat deskripsi kerusakan. Metode penilaian kerusakan beton yang dihasilkan telah valid karena nilai tingkat risiko kerusakan beton dari metode yang dihasilkan cocok dengan hasil investigasi dan assessment konsultan penilai yang dilakukan pada bangunan yang dinilai. Metode penilaian tingkat risiko kerusakan beton yang dihasilkan ini dapat diaplikasikan pada bangunan *existing*.

**BAB V**  
**KESIMPULAN DAN SARAN**

**5.1. Kesimpulan**

Hasil akhir penelitian berupa metode penilaian tingkat risiko kerusakan beton yang terukur secara kuantitatif untuk menilai elemen struktur bangunan gedung *existing* yang dapat diaplikasikan di Indonesia. Skala acuan dan kategori tingkat risiko kerusakan beton berbasis pengujian kuat tekan beton yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 5.1 Kategori Tingkat Risiko Elemen Struktur Gedung *Existing*

Skala Acuan		Kategori Tingkat Risiko pada Elemen Struktur			Tindak Lanjut
Tingkat Risiko	Kriteria	<i>Shear Wall</i> dan Kolom	Balok	Pelat Lantai	
1	Tidak Berbahaya	$f'c_{in} \geq 90\% f'c_d$	$f'c_{in} \geq 85\% f'c_d$	$f'c_{in} \geq 76,5\% f'c_d$	Perlu tindakan perbaikan dalam lingkup pemeliharaan dan perawatan bangunan
2	Berbahaya	$75\% f'c_d \leq f'c_{in} < 90\% f'c_d$	$50\% f'c_d \leq f'c_{in} < 85\% f'c_d$	$45\% f'c_d \leq f'c_{in} < 76,5\% f'c_d$	Perlu segera dilakukan tindakan pemeriksaan serta pengujian berupa pengujian destruktif dan perbaikan
3	Sangat Berbahaya	$f'c_{in} < 75\% f'c_d$	$f'c_{in} < 50\% f'c_d$	$f'c_{in} < 45\% f'c_d$	Perlu dilakukan pengujian beban dan desain struktur untuk perkuatan struktur atau pengurangan beban, atau bangunan tidak dapat digunakan
Keterangan: $f'c_{in}$ : Kekuatan tekan beton lapangan $f'c_d$ : Kekuatan tekan beton rencana/desain					

## 5.2. Saran

Berdasarkan analisis dan hasil penelitian disarankan beberapa hal berikut:

1. Metode penilaian tingkat risiko kerusakan beton yang dihasilkan ini digunakan untuk menilai kondisi bangunan gedung *existing* pada tahap pemeliharaan gedung.
2. Metode penilaian tingkat risiko kerusakan beton yang dihasilkan ini dapat dibuat menjadi program aplikasi komputer, sehingga penggunaannya semakin mudah dan praktis.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute (ACI) 201.1R-08. 2008. *Guide for Conducting a Visual Inspection of Concrete in Service*. ACI Committee 201, USA.
- American Concrete Institute (ACI) Committee 228. (2013). "Report on nondestructive test methods for evaluation of concrete in structures." *ACI 228.2R-13*, The American Concrete Institute, Farmington Hills, MI. USA.
- Applied Technology Council (ATC). 2007. *Guidelines for Seismic Performance Assessment of Buildings*. U.S. Department of Homeland Security (DHS) Federal Emergency Management Agency.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) 356. (2000). "Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings". *FEMA 356/2000*, American Society of Civil Engineers (ASCE), Reston Virginia.
- Hamdia, K.M., Arafa, M., and Alqedra, M. (2018). "Structural damage assessment criteria for reinforced concrete buildings by using a fuzzy analytic hierarchy process." *Underground Space*, 3(3), 243-249, September, Tongji University and Tongji University Press.
- Jain, KK dan Bhattacharjee, B. 2012. *Visual Inspection and Condition Assessment of Structures (VICAS): An Innovative Tool for Structural Condition Assessment*. *International Journal 3R's*, Volume 3, Issue 1, PP 349-357, Januari-Maret.
- Jain, KK dan Bhattacharjee, B. 2012. *Application of Fuzzy Concepts to the Visual Assessment of Deterioration Reinforced Concrete Structure*. *Journal of Construction Engineering And Management*, Volume 138, Issue 3, PP 399-408, March.
- Leite, F. M., Vorse, R. A., Roman, H. R., Saffaro, F. A. (2020). "Building condition assessment: adjustments of the Building Performance Indicator (BPI) for university buildings in Brazil." *Ambiente Construído*, Porto Alegre, 20(1), 215- 230, January/March.
- Malek, M., Tumeo, M., and Saliba, J. (2015). "Fuzzy logic approach to risk assessment associated with concrete deterioration." *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering*, 1(1), 1-8, March.

- MAPEI. 2011. *The Deterioration of Concrete*. MAPEI SpA, Via Cafiero, 22 20158 Milan-Italy.
- Mitra, G., Jain, K.K., and Bhattacharjee, B., “*Condition Assessment of Corrosion-Distressed Reinforced Concrete Buildings Using Fuzzy Logic*”, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, Vol.24, Issue 6, Desember 2010.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. (2018). “Sertifikat laik fungsi bangunan gedung.” Permen PUPR Nomor 27/PRT/M/2018, Jakarta.
- Pragalath, H., Seshathiri, S., Rathod, H., Esakki, B., Gupta, R., “*Deterioration Assessment of Infrastructure Using Fuzzy Logic and Image Processing Algorithm*”, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, Vol. 32, Issue 2, April 2018.
- Pushpakumara, B.H.J., Silva, S., and Silva, G.H.M.J.S. (2017). “Visual inspection and non-destructive tests-based rating method for concrete bridges.” *International Journal of Structural Engineering*, 8(1), 74-91.
- S. M. Noor, H. K. Richard, I. S. Ibrahim, N. N. Sarbini, L. Hanseung, J. Kumar. 2020. Building Condition Assessment (BCA) on school building in Sabah, Malaysia. 4th International Conference on Construction and Building Engineering & 12th Regional Conference in Civil Engineering (ICONBUILD & RCCE 2019)
- Structural Engineering Institute American Society of Civil Engineers (SEI/ASCE) 11-99. 2000. *Guideline for Structural Condition Assessment of Existing Buildings*. The American Society of Civil Engineers, The United State of America.
- Tirpude, N.P., Jain, K.K., and Bhattacharjee, B., “*Decision Model for Repair Prioritization of Reinforced-Concrete Structures*”, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, Vol. 28, Issue 2, April 2014.
- Wijaya, M.G.W., Wahyuni, E., dan Iranata, D. (2014). “Assessment kerentanan bangunan beton bertulang pasca gempa.” *Jurnal Teknik Pomits*, 1(1), 1-6.
- Wiyanto, H., Makarim, C.A., Gondokusumo, O. 2020. *Condition Rating Examination Based on Visual Assessment of Concrete Damage Caused By Poor Implementation*. Technology Reports of Kansai University. 62(09): 5861-5870.
- Wiyanto, H., Makarim, C.A., Gondokusumo, O. 2021. *Local and Global Condition Rating Determination for Concrete Damage Based on Visual Assessment*. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 16(24): 1819-6608.

Wuryanti, Wahyu. 2013. Penilaian Keandalan Struktur Bangunan Gedung Eksisting: Peraturan Dan Implementasinya. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7). 24-26 Oktober 2013. Universitas Sebelas Maret (UNS), Surakarta.

## LAMPIRAN 1. Susunan Personalia Peneliti

No	Nama	NIK/NIDN	Program Studi / Fakultas	Bidang Keahlian	Uraian Tugas	Alokasi Waktu (jam/minggu)
1	Dr. Ir. Henny Wiyanto, M.T.	10393041/ 0316106907	Teknik Sipil / FT	Manajemen Rekayasa Konstruksi	Merancang, mengolah data, menganalisis, dan melaporkan	21
2	Ir. Dewi Linggasari, M.T.	10385004	Teknik Sipil / FT	Konstruksi	Mengolah data	10
3	Aurelia Clarissa	325200007	Teknik Sipil / FT	Manajemen Rekayasa Konstruksi	Mengumpulkan dan menginput data	10
4	Bastian Hosea Wiyanto	915230092	Ilmu Komunikasi / FIKOM	Komunikasi	Mengumpulkan dan menginput data	10