

Perencanaan dan Pelaksanaan Pekerjaan Audit Struktur Bangunan Pada Proyek Mall di Bandung

Bonifasius Christian Prasetyo ¹, Jimmy Chandra ²

¹Program Profesi Insinyur, Universitas Kristen Petra,
bonifasiusc@gmail.com

²Prodi Teknik Sipil dan Prodi Pendidikan Profesi Insinyur, Universitas Kristen Petra
Chandra.jimmy@petra.ac.id

Abstract—*Audit is an examination process, in civil engineering there is also a structure examination process to exam an existing building. Structural audit needs to be carried out due to many things or factors, such as old building, if there is a damage on the building, also if there is a change in load transfer from the existing building design to future building development plans. This article will focus on the sampling work in existing building. There are various kinds of work that needs to be done on the field, such as checking the layout and the dimensions of structural elements, chipping or breaking the element structure to check the reinforcements, core drill, ultrasonic pulse velocity test, rebar scan, hardness test, thickness test, torsion test, the excavation of the foundation, and also PIT test, and after the field job done an analysis will be carried out on the feasibility and capability of the existing structure. Because of the work carried out in the field has various kinds of risk, therefore it is necessary to identify the risk that could be happened in the field such as high risk, structural failure, damaged tools, risk of the operator or people around him could be hurt, and risk of disrupting operations in active buildings. Because of that the solutions and recommendation is needed to anticipate those various kinds of risks as the considerations from the engineering aspect in the structural examination process that proven to increase the vigilance of the risk that can be happened to the structural building, the team, also the building users and people around. Besides considering the engineering aspect can increase efficiency and optimize the work on the fields.*

Keywords: Structural Audit, Sampling work, risk, recommendation from the engineering aspect

Abstrak—Audit merupakan suatu proses pemeriksaan, dalam bidang teknik sipil sendiri juga terdapat audit struktur yang dilakukan untuk melakukan pemeriksaan terhadap bangunan yang sudah terbangun atau eksisting. Pekerjaan audit struktur perlu dilakukan oleh karena banyak hal atau faktor, seperti bangunan yang sudah berumur lama, terdapat kerusakan pada suatu bangunan, ataupun terdapat perubahan alih fungsi beban dari desain bangunan eksisting terhadap rencana pengembangan bangunan di masa depan. Pada artikel ini akan lebih dititik beratkan terhadap pekerjaan pengambilan sampel pada bangunan eksisting. Dimana ada berbagai macam pekerjaan atau metode yang perlu dilakukan, seperti pengecekan layout dan dimensi elemen struktur, chipping atau pembobokan untuk mengecek penulangan, core drill, ultrasonic pulse velocity test, rebar scan, hardness test, thickness test, torsion test, galian pondasi dan PIT Test, yang selanjutnya akan dilakukan analisa terhadap kelayakan dan kemampuan struktur eksisting. Oleh karena pekerjaan yang dilakukan di lapangan memiliki berbagai macam resiko, maka perlu dilakukannya identifikasi terhadap resiko apa saja yang bisa terjadi di lapangan seperti resiko pada ketinggian, resiko kegagalan struktur, kerusakan pada alat, resiko pada operator atau orang disekitarnya dapat terluka dan resiko mengganggu operasional pada bangunan yang aktif. Sehingga perlu adanya solusi dan rekomendasi untuk mengantisipasi berbagai macam resiko tersebut sebagai pertimbangan dari aspek ke insinyuran dalam pekerjaan penyelidikan struktur yang terbukti mampu meningkatkan kewaspadaan terhadap resiko yang dapat terjadi baik terhadap bangunan struktur, tim pelaksana, bahkan pengguna bangunan dan orang di sekitar. Selain itu dengan mempertimbangkan aspek ke insinyuran dapat meningkatkan efisiensi dan mengoptimalkan pekerjaan.

Kata Kunci : Audit Struktur, Pekerjaan pengambilan sampel, resiko, rekomendasi dari aspek keinsinyuran.

I. PENDAHULUAN

Audit merupakan suatu proses pemeriksaan, dalam bidang teknik sipil sendiri juga terdapat audit struktur yang dilakukan untuk melakukan pemeriksaan terhadap bangunan yang sudah terbangun atau eksisting. Audit struktur bangunan sendiri merupakan proses evaluasi dan pemeriksaan mendalam terhadap keandalan, kekuatan dan stabilitas suatu bangunan. Dimana pemeriksaan dilakukan dengan cara mengidentifikasi kerusakan struktural, menjamin keamanan dan keselamatan pengguna atau penghuni, serta memastikan bahwa bangunan masih

memenuhi standar struktural ataupun peraturan yang berlaku.

Pekerjaan audit struktur perlu dilakukan oleh karena banyak hal atau faktor, seperti bangunan yang sudah berumur lama, terdapat kerusakan pada suatu bangunan, ataupun terdapat perubahan alih fungsi beban dari desain bangunan eksisting terhadap rencana pengembangan bangunan di masa depan. Terdapat 3 tahapan dalam pekerjaan audit struktur, dimana tahap pertama dilakukan dengan pengumpulan kebutuhan data bangunan baik secara administrasi (*As Built Drawing*) jika ada dan pengambilan langsung sampel pada bangunan eksisting dimana perlu dilakukan untuk kebutuhan

analisa.

Selanjutnya pada tahap kedua dilakukan analisa struktur dengan menggunakan rekomendasi kebutuhan beban ataupun peraturan yang berlaku sebagai acuan dalam pemeriksaan dan pengambilan keputusan apakah bangunan tersebut masih dapat dikategorikan aman atau tidak. Jika ternyata bangunan tersebut tidak dikategorikan aman, maka perlu dilakukan tahapan ketiga, yaitu analisa perkuatan struktur dimana dilakukan untuk merekomendasikan perbaikan dan perkuatan yang diperlukan pada masing-masing sistem struktur pada bangunan tersebut.

Pada topik kali ini akan lebih dititik beratkan terhadap pekerjaan pengambilan sampel pada bangunan eksisting. Dimana ada berbagai macam pekerjaan atau metode yang perlu dilakukan, seperti pengecekan *layout* dan dimensi elemen struktur, chipping atau pembobokan untuk mengecek penulangan, *core drill*, *ultrasonic pulse velocity test*, *rebar scan*, *hardness test*, *thickness test*, *torsion test*, galian pondasi dan PIT Test.

Oleh karena banyaknya jenis item pekerjaan dan keahlian khusus dalam pengaplikasiannya, selain itu juga pekerjaan yang harus dilakukan dalam kondisi operasional bangunan. Dalam hal ini perlunya ada pemahaman lebih dalam setiap masing-masing item pekerjaan. Perlunya ada pengaman atau *safety* yang dipakai selama pelaksanaan pekerjaan, dan antisipasi dalam menjaga etika ketika pekerjaan dilakukan saat operasional bangunan. sehingga pembahasan kali ini bertujuan untuk mengurangi resiko kecelakaan dalam pekerjaan dengan mempertimbangkan aspek keinsinyuran, terutama dari segi etika pekerjaan, K3 dan Profesionalisme pekerjaan.

II. LANDASAN TEORI

A. Audit Struktur

Struktur audit menurut Bamber et al (1998) dalam Zaenal Fanani (2008) menyatakan bahwa : "Struktur audit merupakan sebuah pendekatan sistematis terhadap auditing yang dikarakteristik oleh langkah-langkah penentuan audit, prosedur rangkaian logis, keputusan, dokumentasi, dan menggunakan sekumpulan alat-alat dan kebijakan audit komprehensif dan terintegrasi untuk membantu auditor melakukan audit".

B. Teknik Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel adalah langkah pertama dan aspek penting dari keseluruhan proses analisis (Kou et al., 2011). Teknik pengambilan sampel dilakukan agar menyerupai, yang tujuannya adalah untuk menghilangkan kebingungan di antara teknik-teknik yang terlihat agak mirip satu sama lain (Som, 1995). Teknik pengambilan sampel, menjelaskan teknik apa yang paling cocok untuk berbagai jenis penelitian, sehingga seseorang dapat dengan mudah memutuskan teknik mana yang dapat diterapkan dan paling cocok untuk proyek penelitiannya.

Tujuan pengambilan sampel biasanya untuk memilih sampel yang representative, dimana sampel yang representatif adalah sampel yang mirip dengan populasi dari mana sampel itu berasal (Hibberts et al., 2012). Kapan pun seseorang ingin menggeneralisasi, sampel harus semirip mungkin dengan populasi. Statistik adalah karakteristik

numerik dari sampel. Statistik yang dihitung dari sampel jarang akan sama persis dengan parameter populasi karena variasi acak, tetapi biasanya cukup dekat (dengan asumsi bahwa pemilihan acak digunakan dan sampel memiliki ukuran sampel yang memadai). Perbedaan antara statistik dan parameter disebut kesalahan sampling (Cohen et al., 2000). Oleh karenanya, peneliti harus memberikan perhatian khusus untuk menyajikan informasi tentang karakteristik sampel termasuk rincian tentang strategi pengambilan sampel yang memungkinkan orang lain untuk mengulangi penelitian (Henn et al., 2005:238).

C. Keselamatan Kerja Konstruksi

Berdasarkan "Modul 3 Pengetahuan dasar Keselamatan Konstruksi" Keselamatan Konstruksi adalah segala kegiatan keteknikan untuk mendukung Pekerjaan Konstruksi dalam mewujudkan pemenuhan standar keamanan, keselamatan, kesehatan dan keberlanjutan yang menjamin keselamatan dan kesehatan tenaga kerja, keselamatan publik, harta benda, material, peralatan, konstruksi dan lingkungan. Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi yang selanjutnya disingkat SMKK adalah bagian dari sistem manajemen pelaksanaan Pekerjaan Konstruksi dalam rangka menjamin terwujudnya Keselamatan Konstruksi.

Keselamatan dan Kesehatan Kerja Konstruksi yang selanjutnya disebut K3 Konstruksi adalah segala kegiatan untuk menjamin dan melindungi keselamatan dan kesehatan tenaga kerja melalui upaya pencegahan kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja pada pekerjaan konstruksi.

D. Pengetesan Struktur Eksisting

Beberapa prosedur yang dapat dilakukan di lapangan yang memiliki landasan teori berdasarkan peraturan SNI yang berlaku adalah sebagai berikut;

1. Ultrasonic Pulse Velocity Test

Metode pengujian beton ini dilakukan berdasarkan ASTM C597:2012 Metode Uji Kecepatan Rambat Gelombang melalui Beton menggunakan alat *Pundit®Lab*. Tujuan penelitian *UPV* Test terhadap struktur beton adalah untuk mengetahui beberapa data-data seperti:

- Homogenitas pada beton.
- Kualitas atau mutu beton dikorelasikan dengan *Hammer* dan *Core Drill Test*.
- Honeycomb atau void atau kerusakan lain pada beton.

Dari metode pengujian ini akan didapatkan nilai cepat rambat gelombang dimana semakin tinggi nilai cepat rambat gelombang maka semakin tinggi kualitas beton. Prosedur pelaksanaan mengacu pada SNI ASTM C597:2012 Metode Uji Kecepatan Rambat Gelombang Melalui Beton (ASTM C597-02, IDT). Data yang didapat dibandingkan sesuai klasifikasi kualitas mutu beton pada Indian Standard IS 13311

7.1.1 The quality of concrete in terms of uniformity, incidence or absence of internal flaws, cracks and segregation, etc, indicative of the level of workmanship employed, can thus be assessed using the guidelines given in Table 2, which have been evolved for characterising the quality of concrete in structures in terms of the ultrasonic pulse velocity.

Table 2 Velocity Criterion for Concrete Quality Grading

Sl No.	Pulse Velocity by Cross Probing (km/sec)	Concrete Quality Grading
1.	Above 4.5	Excellent
2.	3.5 to 4.5	Good
3.	3.0 to 3.5	Medium
4.	Below 3.0	Doubtful

Note — In case of "doubtful" quality it may be necessary to carry out further tests.

Gambar 1. Kualitas Mutu Beton berdasarkan Standard IS 13311

2. Core Drill dan Crushing Test

Pada proses pengambilan benda uji beton ini dilakukan dengan menggunakan peralatan mesin core drilling dimana mengacu pada standar SNI 2492: 2018 "Metode pengambilan dan Pengujian Inti Beton Hasil Pemboran dan Balok Beton Hasil Pemotongan".

3. Kekerasan Material Baja (Hardness Portable Test)

Kekerasan (*Hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*Mechanical properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaanya akan mengalami pergesekan (*frictional force*) dan dinilai dari ukuran sifat mekanis material yang diperoleh dari DEFORMASI PLASTIS (deformasi yang diberikan dan setelah dilepaskan, tidak kembali ke bentuk semula akibat indentasi oleh suatu benda sebagai alat uji). Dimana pengujian dilakukan berdasarkan SNI 8461:2017 "Metode Uji Kekerasan Leeb untuk Besi dan Baja" yang menetapkan penentuan nilai kekerasan leeb untuk baja, baja cor, dan besi cor (BAGIAN A), termasuk cara untuk verifikasi alat untuk pengujian kekerasan leeb (BAGIAN B), dan uji kalibrasi blok standar (BAGIAN C).

Dimana angka kekerasan leeb merupakan angka yang nilainya sama dengan perbandingan antara kecepatan pantulan dengan kecepatan tumbukan dari 3 mm atau 5 mm (berdasarkan jenis alat tumbukan yang dipakai) diameter tungsten karbida berbentuk bola, silicon nitrida atau diamond tipped impact body, dikalikan dengan 1000.

$$L = \frac{\text{Kecepatan Pantul}}{\text{Kecepatan Tumbukan}} \times 1000 \quad (1)$$

Angka kekerasan leeb diberi simbol HL dengan satu atau lebih akhiran yang menunjukkan jenis perangkat tumbukan.

4. Pengujian Kekencangan Baut

Berdasarkan SNI 8458:2017 tentang Metode Uji Pengencangan Baut Mutu Tinggi menjelaskan mengenai penentuan nilai momen torsi yang akan digunakan pada kunci torsi untuk mencapai gaya jepit minimum yang telah ditentukan. gaya jepit minimum

sama dengan gaya tarik minimum baut. Uji gaya tarik baut (hubungan momen torsi dan gaya tarik) dilakukan minimal satu kali dalam satu hari pada saat pemasangan baut untuk satu lot.

5. Pengujian PIT Test

Pengujian tiang menggunakan alat *PIT* dilakukan dengan menganalisis gelombang yang ditransfer sepanjang tiang akibat gaya yang diberikan oleh palu genggam di kepala tiang tanpa menyebabkan deformasi sehingga dapat dikatakan dalam keadaan elastis. Gelombang ditransfer sepanjang beton dengan rentang kecepatan gelombang 3500 m/s hingga 4100 m/s. Hasil pengujian berupa grafik *velocity* kemudian diperiksa untuk mendeteksi pantulan/refleksi yang cukup besar sebagai indikasi perubahan impedansi tiang. Secara umum, pantulan gelombang positif yang terjadi sebelum pantulan pada ujung tiang menunjukkan pengurangan impedansi tiang. Bila tidak dijumpai adanya penyimpangan signifikan yang terdeteksi, menunjukkan bahwa EA tiang uniform, dimana E adalah modulus beton dan A (mm²) merupakan luas penampang tiang.

Jika refleksi pada saat perjalanan gelombang maka dapat dibuat kesimpulan ada perubahan impedansi tiang. Perubahan impedansi (BTA) adalah perbandingan antara area bagian yang terekam terhadap desain area tiang dalam persentase. Perubahan BTA pada tiang menunjukkan adanya refleksi pada kurva kecepatan pada lokasi dimana ada perubahan impedansi.

Analisis keutuhan tiang berdasarkan interpretasi dari karakteristik perjalanan gelombang sepanjang tiang yang tergantung pada struktur integritas dan tahanan tanah sepanjang tiang. Anomali sepanjang bagian tiang akan terilustrasi dengan refleksi awal gelombang kecepatan. Apabila terjadi kelainan, besarnya penampang yang tersisa dinyatakan dengan nilai BTA, yaitu perbandingan luas penampang sisa dengan luas penampang asli dalam persentase.

Tabel 1. Kategori BTA

BTA (%)	Category
100	Undamaged – Pile in good condition
80 – 99	Slight Damage – Pile has minor problem
60 - 79	Pile has major problem; further analysis and / or repair needs
Below 60	Broken – Pile to be rejected

Reference: Rausche, F. And Goble, G.G Determination of Pile Damage by Top Measurements, "Behavior of Deep Foundations" ASTM STP 670, Raymond Lundgren, Ed. American Society for Testing Materials. 1979 PP.500-50

Adapun batasan pengujian metode PIT ini sebagai berikut:

- Tidak dapat dilakukan diatas pilecap.
- Tidak dapat dilakukan pada tiang yang sudah di perkuat atau dilapisi selimut beton luar (hanya dapat dilakukan pada pondasi tiang asli).
- Kondisi tanah yang sangat keras akan memperlemah gelombang pantul yang didapat.

- Semakin panjang tiang maka semakin lemah gelombang pantul yang diperoleh di kepala tiang.
- Tidak dapat mendeteksi lebih dari satu perubahan impedansi.
- Tidak dapat mengevaluasi panjang tiang jika pantulan ujung tidak terlihat.

III. METODE KERJA

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif. Penelitian kualitatif adalah prosedur penelitian yang menghasilkan data deskriptif berupa kata-kata tertulis atau lisan dari orang-orang dan perilaku yang dapat diamati (Moleong,2017). Pendekatan kualitatif adalah suatu proses penelitian ataupun kajian yang berdasarkan pada metodologi yang menyelidiki suatu fenomena yang lebih komprehensif.

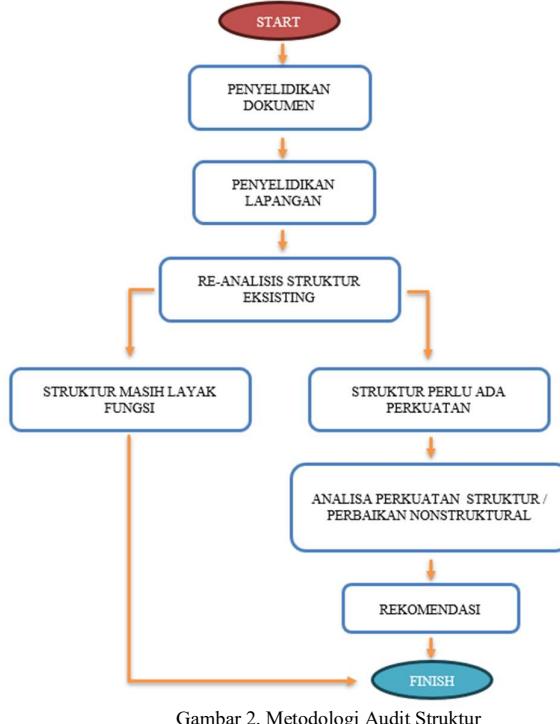
B. Lokasi Penelitian

Lokasi proyek penelitian adalah merupakan sebuah bangunan bekas mall di kota bandung, Jawa Barat. Dimana saat ini bangunan sudah tidak lagi beroperasional dan selanjutnya akan direncanakan difungsikan sebagai supermarket bahan bangunan.

C. Pengumpulan Data

Pada penelitian ini pengumpulan data menggunakan jenis data primer, dimana data berdasarkan pada proyek yang dilakukan sendiri secara langsung. Sehingga berdasarkan pengamatan langsung dilapangan dan juga metode kerja yang dilakukan selama pekerjaan dapat mendukung hasil dan pembahasan dari jurnal ini.

Metodologi yang dilakukan dalam pekerjaan audit struktur sendiri adalah sebagai berikut :



1. Penyelidikan Dokumen

Penyelidikan dokumen bangunan eksisting perlu dilakukan sebelum penyelidikan lapangan, agar pekerjaan dapat lebih efisien. Dokumen yang dapat digunakan seperti As Built Drawing dan Laporan Penyelidikan Tanah sangat bermanfaat selama proses audit struktur. Sehingga dengan adanya dokumen tersebut penyelidikan lapangan dapat dilakukan lebih efisien dan lebih pasti untuk memvalidasi dokumen tersebut terhadap hasil penyelidikan lapangan.

2. Penyelidikan Lapangan

Penyelidikan lapangan dilakukan untuk mendapatkan kebutuhan data untuk melakukan re-analisis struktur. Penyelidikan yang dilakukan di lapangan adalah sebagai berikut :

a. Pengecekan Visual dan Re-Drawing Struktur

Pengecekan Visual dilakukan untuk menggambar atau re-drawing layout struktur, dimensi elemen struktur dan detail elemen struktur eksisting, selain itu pengecekan dilakukan secara menyeluruh pada tiap lantai bangunan untuk mendeteksi dan mengamati langsung kerusakan yang terjadi akibat retak, deformasi dan settlement, sekaligus menyelidiki penyebabnya. Pekerjaan pengecekan visual struktur dilakukan dengan cara :

- Mengukur jarak antar as kolom dan tinggi elevasi lantai
- Mengukur dimensi elemen struktur
- Mengukur jarak pembesian struktur
- Pendataan titik-titik kerusakan
- Pengukuran kedalaman dan lebar retakan



Gambar 3. Alat Pengecekan Visual

b. Pengujian Mutu Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk mendapatkan mutu beton pada beberapa elemen struktur dan keseragaman mutu beton terhadap keseluruhan sistem struktur. Pekerjaan pengujian mutu beton dilakukan dengan dua metode, yaitu :

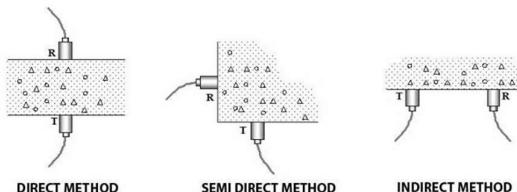
i. *Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPV Test)*

UPVT bekerja berdasarkan pengukuran waktu tempuh gelombang ultrasonik yang menjalar dalam struktur beton. Gelombang ultrasonik disalurkan dari transmitter transducer yang ditempatkan di permukaan beton melalui material beton menuju receiver transducer dan waktu tempuh gelombang tersebut diukur oleh *Read-Out unit PUNDIT Portable Unit Non Destructive Indicator Tester* dalam m detik.

Ultrasonic Pulse Velocity Test dilaksanakan berdasarkan standar pengujian BS 1881-203; ASTM C597. Pengukuran dapat dilakukan dengan beberapa metode berikut:

- *Direct Method* yaitu transmitter dan receiver berada pada dua permukaan yang paralel.
- *Semi-direct Method*, yaitu transmitter dan receiver berada pada dua permukaan yang saling tegak lurus.
- *Indirect Method* dimana kedua transducer berada pada permukaan yang sama.

Seperti ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 4. Metode UPV Test

ii. *Core Drill dan Crushing Test*

Dimana Metode pengambilan dan pengetesan di laboratorium dijelaskan sebagai berikut:

- Proses pengeboran benda uji menggunakan mesin *core drill* dengan mata *diamond* agar benda uji mulus tidak cacat.
- Pemilihan titik benda uji beton inti harus diperhatikan dan dipilih pada tempat yang tidak membahayakan struktur.
- Perbandingan minimal panjang beton uji dan diameter 1:1.
- Pengiriman beton uji ke laboratorium yang selanjutnya dilakukan pemotongan (perataan permukaan).
- Beton inti yang telah terpotong permukaannya dilapisi (*capping*) dengan bahan belerang untuk meratakan permukaan beton.
- Pengetesan beton uji dengan menggunakan *compression machine* yang akurat dan telah dikalibrasi oleh lembaga-lembaga yang berwenang.
- Penutupan bekas core drill menggunakan mutu yang lebih kuat dan tidak menyusut.

c. *Pengecekan Profil Baja*

Pengecekan profil baja dilakukan untuk mendapatkan mutu baja baik pada elemen baja

ataupun sambungan baja tersebut, selain itu juga mendapatkan mutu dari segi ketebalan dan dimensi dari profil tersebut apakah sudah sesuai dengan standar. Pekerjaan pengujian mutu baja dilakukan dengan tiga metode, yaitu :

i. *Pengetesan Kekerasan Material Baja (Hardness Portable Test)*

Pengujian yang paling banyak dipakai adalah dengan menekankan penekan tertentu kepada benda uji dengan beban tertentu dan dengan mengukur ukuran bekas penekanan yang terbentuk di atasnya, cara ini dinamakan cara kekerasan dengan penekanan. Kekerasan juga didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban identasi atau penetrasi (penekanan). Di dunia teknik, umumnya pengujian kekerasan menggunakan 4 macam metode pengujian kekerasan, yakni:

- *Hardness Tester Brinell (HB/BHN)*
- *Hardness Tester Rockwell (HR / RHN)*
- *Hardness Tester Vickers (HV / VHN)*
- *Hardness Tester Micro Hardness* (Namun jarang sekali dipakai-red)

ii. *Pengecekan Ketebalan Material baja (Thickness Meter test)*

Alat pengukur ketebalan pelat ini memiliki prinsip kerja yang sama dengan prinsip prinsip kerja sonar, Alat ukur ketebalan plating *HOLD PEAK HP-130* ini mampu mengukur ketebalan dari berbagai bahan dengan akurasi setinggi 0,1 milimeter

iii. *Pengecekan Kekencangan Sambungan Baut (Torsion test)*

Pengecekan kekencangan baut dapat dilakukan dengan menggunakan alat seperti kunci momen atau *wrench torque*. Dimana cara kerjanya berdasarkan SNI 8458:2017 adalah sebagai berikut :

- Ukur diameter badan baut, panjang baut total dan panjang baut termasuk ring baut dengan menyisakan 3 sampai 5 ulir penuh untuk menentukan adaptor.
- Pasang adaptor pada alat kalibrasi. Adaptor yang dipasang maksimum dua buah yang diletakkan di dua sisi yaitu kepala baut dan mur.
- Pasang baut, ring baut dan mur pada alat kalibrasi dengan ring baut dipasang pada bagian yang diputar. Ring baut yang dipasang untuk menghindari friksi antara kepala baut atau mur terhadap muka bidang alat kalibrasi dan maksimum sebanyak dua buah yang diletakkan di dua sisi.
- Lakukan percobaan awal apabila data nilai momen torsi dari produsen baut tidak tersedia. Percobaan awal perlu dilakukan dalam rangka mendapatkan nilai momen torsi yang diperlukan untuk memperoleh nilai kekencangan (gaya tarik) yang harus

- dicapai. Data tersebut dicatat dalam suatu lembar yang terpisah.
- Tetapkan nilai torsi kemudian atur kunci torsi pada nilai momen torsi tersebut (dari hasil percobaan awal atau data produsen baut) kemudian lakukan pengencangan baut. Pengencangan harus dilakukan sekali secara menerus tanpa hentakan hingga nilai momen torsi tercapai.
 - Baca dan catat nilai gaya tarik yang tercapai dari proses pengencangan dengan nilai momen torsi pada butir 6.e.
 - Hentikan pengujian apabila nilai gaya tarik yang diperoleh sama atau lebih besar dari nilai gaya tarik minimum yang disyaratkan. (+ 5 % dari nilai yang disyaratkan).
 - Atur nilai momen torsi yang lebih besar pada kunci apabila nilai tarik minimum tidak tercapai, longgarkan baut yang diuji dan ulangi prosedur 6.c dan 6.e.
 - Gaya tarik minimum dapat dihitung sebesar 0,7 tegangan tarik putus dikalikan luas penampang baut. Untuk tipe baut tertentu, gaya tarik maksimum dan gaya tarik minimum dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Luas penampang baut dapat dihitung dari diameter nominal baut (luas penampang lingkaran).
 - Jumlah benda uji minimum dalam satu kali pengujian adalah 3 (tiga) buah benda uji.
 - Nilai pengencangan yang ditetapkan adalah rata-rata dari nilai momen torsi yang diterima untuk mencapai gaya tarik baut (kekencangan) yang disyaratkan.
 - Apabila perbedaan gaya tarik baut yang dihasilkan dari satu nilai momen torsi yang sama melebihi 10%, maka hasil pengujian tersebut harus diabaikan dan melakukan pengujian dengan benda uji yang baru.



Gambar 5. Alat Tes Torsi

d. Pemeriksaan Pembesian

Pemeriksaan pembesian dilakukan pada setiap elemen struktur yang dibutuhkan dalam proses analisa nantinya, seperti kolom, balok, plat latai, tie beam, pile cap, ataupun plat pondasi dangkal. Jika terdapat data as built drawing cukup membantu dalam pengecekan penulangan pada struktur bangunan tersebut. Sedangkan jika tidak maka perlu dilakukan pengambilan sampel pada setiap elemen struktur dengan tujuan memenuhi kebutuhan dalam analisa. Metode pelaksanaan nya sendiri adalah sebagai berikut :

- i. Menentukan titik lokasi sampel yang akan diperiksa
 - ii. Dilakukan pengupasan pada selimut beton dengan mesin bobok / *chipping*
 - iii. Membersihkan area yang sudah dichipping
 - iv. Melakukan pendataan terhadap jumlah, jarak, dan dimensi tulangan, selain itu juga terhadap tebal selimut beton
 - v. Menutup kembali titik *chipping* dengan campuran beton mutu tinggi dan finishing
- e. Pengecekan Tulangan dengan Profometer
- Metode pengujian ini dilakukan untuk menentukan posisi dan jarak tulangan serta tebal selimut beton
- Prosedur pengukuran:
- i. Gunakan *probe* 1 untuk mengetahui letak tulangan dan beri tanda dengan pensil/kapur.
 - ii. Cari letak tulangan berikutnya yang bersebelahan/sejajar sampai terdapat beberapa titik yang ada dan lakukan pengukuran jarak pada titik-titik tersebut.
 - iii. Dari letak tulangan tersebut diukur juga ketebalan selimut beton dengan menggunakan *probe* 2.
 - iv. Untuk mengetahui dimensi tulangan, letakkan *probe* 3 pada lokasi yang sudah ditandai.
- f. Survey *Levelling* Lantai dan Vertikaliti Bangunan *Levelling* Lantai
- i. Lingkup Pekerjaan
 - Pengukuran elevasi dan beda level pelat lantai bangunan eksisting;
 - Menginformasikan hasil beda level dan ditampilkan pada gambar.
 - ii. Alat-Alat yang Digunakan
 - *Waterpass*
 - *Tripod*
 - Rambu ukur
 - iii. Pelaksanaan Pekerjaan

Pelaksanaan pekerjaan lapangan adalah sebagai berikut:

Pengukuran detail situasi dilaksanakan untuk mendapatkan data ketinggian/elevasi bangunan eksisting untuk memeriksa kemungkinan terjadinya deformasi/*settlement* bangunan.
 - iv. Hasil Pengukuran

Hasil-hasil pengukuran elevasi, pengukuran batas, pengukuran situasi yang diberikan dalam bentuk gambar kontur.

Vertikaliti Bangunan

1. Lingkup Pekerjaan
 - Pengukuran kelurusinan kolom eksisting.
 - Penggambaran vertikaliti bangunan eksisting.
2. Alat-Alat yang Digunakan
 - *Total Station*
 - *Tripod*
 - Meteran
3. Pelaksanaan Pekerjaan

Pelaksanaan pekerjaan lapangan adalah sebagai berikut:

Penembakan kolom eksisting dari lantai atas per lantai hingga ke lantai dasar.

4. Hasil Pengukuran

Hasil-hasil pengukuran vertikaliti adalah sudut kemiringan kolom bangunan yang menjadi indikasi kondisi kemiringan bangunan

g. Penggalian dan Pengetesan Pondasi

Penggalian pondasi dilakukan dengan tujuan:

- Memperoleh informasi tipe dan kedalaman pondasi;
- Memperoleh informasi dimensi dan penulangan pondasi.
- Melakukan pengetesan *PIT Test* pada pondasi dalam

h. Penyelidikan Tanah

Penyelidikan Tanah dilakukan dengan cara melakukan tes sondir untuk mendapatkan tanah keras dimana nilai perlawanan konus telah mencapai 250 kg/cm² atau telah mencapai jumlah hambatan lekat 2,50 ton (kapasitas alat). Selain itu juga melakukan pengeboran geoteknik untuk mendapatkan sampel tanah dan daya dukung tanah untuk tipe pondasi dalam yang digunakan.

3. Re-Analisis Struktur

Analisa kembali bangunan eksisting dilakukan menggunakan data yang telah didapatkan pada tahapan sebelumnya, Dimana data tersebut diolah untuk mendapatkan layout bangunan, mutu struktur, dan detail struktur. Selanjutnya dengan menggunakan program ETABS dan peraturan ASCE 41-17 yang digunakan dalam melakukan analisa hingga mendapatkan hasil analisa apakah bangunan tersebut sudah memenuhi ijin dan aman atau perlu adanya tindakan dengan melakukan perkuatan pada struktur tersebut.

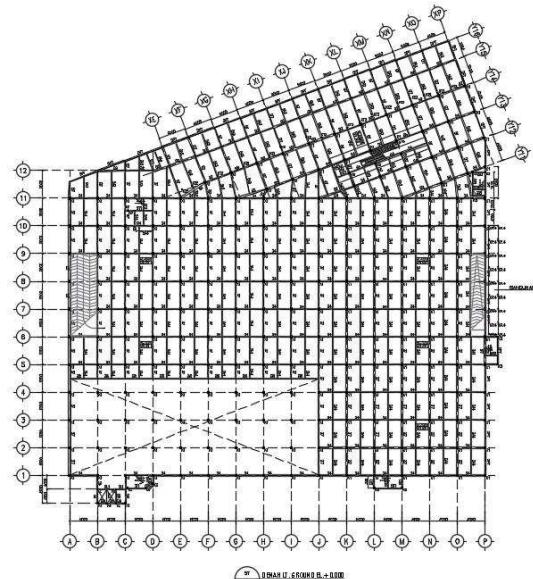
4. Analisa Perkuatan Struktur / Perbaikan Nonstruktural

Tahapan ini perlu dilakukan jika tahapan sebelumnya dalam menganalisa bangunan eksisting ternyata terdapat elemen struktur atau bangunan tersebut tidak memenuhi ijin dan perlu dilakukan perkuatan agar dapat memenuhi kebutuhan. Perkuatan yang dilakukan beragam dan fleksibel tergantung kebutuhan dan keefisienan dalam rekomendasi perkuatan tersebut hingga bangunan tersebut layak untuk dianggap sebagai layak fungsi.

D. Deskripsi Proyek

Proyek yang ditinjau merupakan proyek audit struktur sebuah bangunan bekas mal di kota bandung, Jawa Barat. Dimana saat ini bangunan sudah tidak lagi beroperasional dan selanjutnya direncanakan akan difungsikan sebagai supermarket bahan bangunan. Berdasarkan kebutuhan pihak owner beban standar untuk gudang supermarket tersebut sendiri sebesar 2,5 t/m², sedangkan untuk kondisi eksisting sendiri belum diketahui untuk kapasitas beban yang mampu diterima. Oleh karena itu akan ada perubahan alih fungsi dan perubahan beban yang akan diterima oleh struktur tersebut,

sehingga audit struktur perlu dilakukan. Tujuan dari audit struktur dari proyek ini sendiri adalah untuk mengetahui kekuatan dan kelayakan fungsi struktur eksisting saat ini dengan mengacu pada ASCE 41-17 *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings* dan juga oleh karena rencana adanya alih fungsi bangunan. Sistem struktur bangunan tersebut adalah beton bertulang dengan rangka atap profil baja. Informasi dari pihak pegawai di lapangan, gedung telah dibangun pada tahun 2006 dan diresmikan pada tahun 2007.



Gambar 6. Denah Struktur Bangunan

Bangunan terdiri dari 1 lantai basement dan 2 lantai struktur atas, yang memiliki luas total 38.036 m². Kondisi eksisting lantai terbawah yang merupakan basement berisikan ruang – ruang MEP, *loading dock* dan area parkir mobil, sedangkan pada lantai diatasnya, yaitu *Ground Floor* (GF) juga merupakan area parkir mobil, motor, dan sebagian area *commercial*, Lantai teratas atau lantai 2 juga difungsikan sebagai area *commercial* dan juga kantor. Sedangkan untuk rencana pihak owner baru terdapat beberapa lantai yang dialih fungsi, yaitu pada lantai basement yang diubah menjadi area *loading dock* dan Gudang. Sedangkan pada lantai GF dan lantai 2 masih difungsikan sama seperti kondisi eksisting dengan beban yang ditingkatkan berdasarkan kebutuhan owner.

IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Proses Penyelidikan Lapangan

Tim audit struktur telah melaksanakan pemeriksaan ke lokasi proyek pada tanggal 8 Mei 2023 sampai 2 Juni 2023 untuk pemeriksaan mendetail kondisi struktur bangunan eksisting. Pelaksanaan penyelidikan lapangan dilakukan dengan 2 metode, yaitu NDT atau *NonDestructive Test* dan DT atau *Destructive Test*. NDT merupakan proses penyelidikan lapangan tanpa melukai atau merusak elemen struktur yang ada, sehingga proses pelaksanaan pekerjaan ini sangat minim resiko. Macam-macam pengetesan yang bersifat NDT adalah UPV Test, Profometer, Survey Levelling Lantai, Vertikaliti Bangunan, *PIT Test*, *Hardness Portable Test*, *Thickness Meter Test*, dan *Torsion Test*.

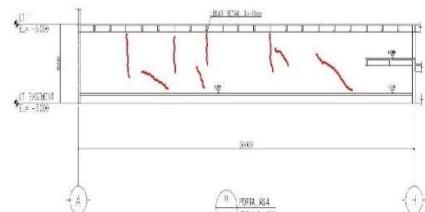
Namun pengetesan profil baja seperti *Hardness Portable Test*, *Thickness Meter Test*, dan *Torsion Test* juga dapat beresiko jika pemeriksaan tersebut dilakukan pada ketinggian atap, yang relatif tinggi.

Selanjutnya terdapat DT yang merupakan proses penyelidikan lapangan dengan melukai atau merusak elemen struktur yang ada, namun masih dalam batas aman. Oleh karena pekerjaan ini perlu melakukan pembongkaran terhadap elemen struktur maka pekerjaan ini sangat beresiko jika tidak dikerjakan dengan mengutamakan keselamatan dan profesionalisme dalam bekerja. Macam – macam pengetesan yang bersifat DT adalah *Core Drill*, *Chipping* atau pembobokan, dan penggalian pondasi. Selama proses penyelidikan, langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan pengecekan visual, sebelum melakukan pengujian-pengujian tersebut dalam pekerjaan audit struktur kita perlu memperhatikan dan mengamati kondisi fisik bangunan dan elemen – elemen struktur di lapangan terlebih dahulu, sebagai acuan untuk menentukan bagian atau elemen konstruksi yang mana harus diteliti lebih lanjut dan sebagai pertimbangan analisa. Dimana didapatkan adanya problematik pada bangunan eksisting yang ditemukan setelah penyelidikan di lapangan sebagai berikut :

- Terjadinya penurunan lantai pada area *Ground Floor*
- Retak geser dan retak lentur pada balok *Ground*
- Terdapat retak lentur antara balok dan pelat lantai di lantai *Ground*
- Adanya rembesan pada sebagian pelat *Ground Floor*
- Retak pada sebagian dinding



Gambar 7. Dokumentasi Retak Pelat Lantai terhadap Balok



Gambar 8. Dokumentasi Retak Geser pada Balok

Selanjutnya berdasarkan hasil pemeriksaan visual tersebut kita dapat menentukan titik atau lokasi elemen

struktur yang perlu ditinjau lebih lanjut dan dilakukan pengetesan, sebagai sampel yang dapat mewakili keseluruhan struktur bangunan. Dimana penentuan titik tersebut tidak dapat ditentukan secara bebas dan perlu adanya perimbangan. Tahapan berikutnya adalah melakukan pengujian pada masing-masing titik yang sudah ditentukan, yang dilakukan oleh tim yang sudah ahli. Selama tahap pengujian ini perlu diperhatikan dalam pelaksanaannya yang mengutamakan keselamatan, etika dan profesionalisme kerja yang perlu diawasi oleh kepala tim proyek. Terakhir setelah tim audit mendapatkan sampel, yang selanjutnya dapat diolah datanya dan menjadi bahan analisa oleh *structure engineer* dalam meninjau apakah bangunan tersebut masih dalam kondisi aman atau perlu adanya perkuatan atau perbaikan structural maupun non-struktural.

B. Identifikasi Resiko

Berbagai resiko dapat terjadi selama proses penyelidikan lapangan baik secara keselamatan, teknis maupun non teknis. Sehingga dengan berbagai resiko tersebut kepala tim proyek perlu mengantisipasi dan mempertimbangkan solusi dalam menangani masalah tersebut. Terutama selama proses penyelidikan *Destructive Test* resiko sangat besar kemungkinannya terjadi, adapun berbagai resiko yang dapat terjadi adalah sebagai berikut :

1. Resiko pada ketinggian

Penyelidikan struktur bangunan tidak luput pada pemeriksaan di tempat tinggi. Hal tersebut dilakukan ketika melakukan pemeriksaan rafter baja pada struktur atap baja ataupun elemen struktur yang lain. Sehingga ketika pelaksanaan penyelidikan diperlukan tumpukan perancah atau *scaffolding*, dimana *scaffolding* merupakan suatu peralatan bangunan (platform) yang dibuat sementara dan digunakan sebagai penopang pekerja, material, dan perkakas dalam setiap pekerjaan konstruksi bangunan gedung, termasuk pekerjaan pemeliharaan dan pembongkaran, tertaut dalam Permenakertrans No. PER 01/MEN/1980 tentang Keselamatan Kerja. dan Kesehatan dalam Konstruksi Bangunan.



Gambar 9. Penyelidikan diatas Scaffolding

Pekerjaan yang dilakukan pada ketinggian bukan hanya memperhatikan keamanan diri operatornya, akan tetapi juga alat yang digunakan selama pelaksanaan pengetesan. Beragam resiko yang bisa saja terjadi selama proses penyelidikan di tempat tinggi seperti resiko operator yang jatuh hingga dapat melukai ataupun membunuh, selain itu juga terdapat resiko rusaknya properti atau alat yang jatuh ataupun disaat jatuh bersamaan. Selain itu juga resiko juga dapat terjadi pada pekerja atau karyawan lain yang berada disekitar area pekerjaan tersebut. Kelalaian atau *human error* merupakan unsur utama yang menyebabkan resiko ini terjadi.

Peralalatan yang digunakan seperti *scaffolding* yang tidak dipasang dengan benar sehingga beresiko bergoyang juga merupakan salah satu dari banyak kemungkinan yang bisa terjadi selama proses penyelidikan.

2. Resiko kegagalan struktur

Penyelidikan *Destructive Test* dimana pekerjaan ini perlu membobok atau mengebor elemen struktur sangat beresiko terjadinya kegagalan struktur. Kegagalan struktur sendiri merupakan kondisi dimana ada suatu komponen atau elemen struktur, atau bahkan seluruh struktur yang kehilangan kemampuan untuk menahan beban yang dipikul. Kegagalan struktur akibat pengetesan dapat terjadi ketika timbul indikasi-indikasi seperti timbulnya retak pada area pengetesan, terutama timbulnya retak struktural yang berdampak pada berkurangnya kapasitas elemen struktur tersebut. Lendutan yang timbul secara signifikan setelah pengetesan juga salah satu indikasi adanya kegagalan struktur yang cukup ekstrim, jika lendutan tersebut sudah melebihi dari yang diijinkan. Lendutan juga dapat diketahui berdasarkan elemen non struktural yang ditopang elemen struktur tersebut, seperti dinding atau keramik. Penyebab terjadinya kegagalan struktur sendiri adalah murni *human error* dan *miss calculation* yang dilakukan baik pada operator pengetesan ataupun *structure engineer* sebagai penanggung jawab proyek tersebut.

3. Kerusakan pada alat

Penggunaan alat sudah pasti dilakukan pada penyelidikan struktur, dimana penyelidikan *Destructive Test* memiliki resiko yang sangat tinggi terjadi kerusakan. Sedangkan *Non Destructive Test* juga dapat beresiko mengalami kerusakan pada alat meskipun tidak seperti *Destructive Test*. Berbagai resiko kerusakan dapat terjadi dengan beragam penyebab, seperti :

a. *Human Error* (Kerusakan yang disebabkan oleh manusia)

Penyebab utama kerusakan alat yang disebabkan oleh manusia adalah karena kurang pahamnya operator dalam pengoperasian alat yang digunakan. Sebenarnya, kendala ini lah yang menjadi alasan utama mengapa seluruh alat selalu dilengkapi dengan buku panduan (*manual book*) pengoperasian alat. Akan tetapi masih banyaknya operator yang lalai dan enggan membaca buku panduan, sehingga ini cukup beresiko jika pengoperasian tidak dilakukan sesuai panduannya. Selain kesalahan pengoperasian bisa juga kerusakan disebabkan karena mesin yang sering *overheat* dan lalainya operator dalam menjaga alat tersebut, dimana hal ini sangat beresiko jika pekerjaan dilakukan pada tempat yang tinggi sehingga menimbulkan resiko alat tersebut yang bisa jatuh dari ketinggian.

b. Kerusakan karena faktor usia

Kerusakan karena faktor usia sangat sering terjadi oleh karena umur alat yang sudah cukup tua dan seringnya alat tersebut digunakan. Setiap mesin biasanya memiliki batas usia penggunaan, jika melewati batas usia tersebut alat akan sangat beresiko mengalami kerusakan. Sehingga perlu diperhatikan untuk masa umur alat dan perlunya peremajaan atau perbaikan komponen atau *sparepart* jika diperlukan.

c. Kerusakan akibat kurang perawatan

Perawatan atau *maintenance* merupakan aspek yang penting dilakukan pada sebuah mesin atau alat. Alat yang digunakan terutama untuk pekerjaan berat atau kasar sangat beresiko mengalami kerusakan jika alat tersebut tidak dirawat. Perawatan juga dilakukan untuk meminimalisir perlunya ada perbaikan atau pergantian *sparepart*. Selain itu juga perlu juga diperhatikan untuk alat tersebut apakah masih layak fungsi atau tidak, jika tidak apakah perlu dilakukan peremajaan atau perbaikan komponen atau *sparepart*.

4. Resiko operator ataupun orang sekitar terluka

Pekerjaan penyelidikan *Destructive Test* dimana pekerjaan ini perlu membobok atau mengebor elemen struktur sangat beresiko terjadinya kecelakaan pada operator maupun orang disekitarnya. Terlebih jika pekerjaan itu dilakukan pada ketinggian tertentu, perlu konsentrasi lebih dalam mengoperasikan alat dan menjaga posisi agar tidak terjadi kecelakaan baik untuk diri sendiri maupun mencelakai orang disekitarnya. Resiko pada operator juga bisa terjadi oleh karena kurang terampil atau memahaminya operator terhadap alat yang digunakan sehingga bisa berdampak melukai penggunanya baik dari mesin tersebut atau dari material yang dibobok atau di bor.



Gambar 10. Pekerjaan Destructive Test

Selain itu faktor dari kurangnya alat pelindung diri yang digunakan menjadi salah satu faktor yang menyebabkan kemungkinan kecelakaan terjadi. Faktor lain yang menyebabkan kecelakaan adalah karena debu yang bertebaran ketika melakukan pekerjaan sangat mengganggu pelaksanaan pekerjaan, kurangnya konsentrasi ketika melakukan pekerjaan (*human error*), Material yang berjatuhan ketika pekerjaan dilakukan di ketinggian sehingga beresiko melukai orang disekitar.

5. Resiko mengganggu operasional bangunan aktif

Pelaksanaan penyelidikan bangunan tidak selalu pada bangunan yang kosong, akan tetapi juga bisa pada bangunan yang masih beroperasional. Sehingga pelaksanaan audit struktur akan mengganggu operasional bangunan tersebut. Terutama ketika pekerjaan yang bersifat *Destructive Test* akan berdampak pada banyaknya debu atau puing yang

dihasilkan dari pekerjaan, adanya gangguan kebisingan selama proses pekerjaan, perlunya mengisolasi atau menutup beberapa ruangan tertentu pada area pekerjaan, dan mengganggu aktivitas ataupun sirkulasi pengguna bangunan tersebut.

C. Solusi & Rekomendasi

Berdasarkan beberapa poin dampak atau resiko yang telah diidentifikasi, maka perlu adanya rekomendasi atau solusi dalam mengatasi resiko tersebut. Berikut adalah beberapa solusi dan rekomendasi yang dapat dilakukan kepala tim projek dan operator selama melakukan penyelidikan struktur :

1. Memahami penentuan titik pengujian untuk menghindari resiko kegagalan

Penentuan titik sampel di lapangan perlu diperhatikan, dimana tidak seluruh elemen struktur bangunan akan diambil sampelnya karena hal tersebut akan memakan waktu yang lama, membutuhkan biaya lebih dan beresiko terhadap bangunan tersebut. Terutama pada pekerjaan *Destructive Test* pengambilan sampel hanya pada beberapa elemen struktur yang dapat mewakili elemen struktur yang lain. Selain itu pengeboran untuk mendapatkan tulangan eksisting dilakukan hanya pada selimut beton, sehingga beton inti tidak terganggu. Sedangkan untuk balok dilakukan pengeboran pada area gaya tarik pada baja, yaitu pada area atas untuk tumpuan, dan bawah pada bentang lapangan.

Pekerjaan *core drill* juga perlu diperhatikan untuk titik pengambilan sampel yang dapat mewakili mutu dari keseluruhan bangunan tersebut, dimana pengetesan *hammer test* dan *upv test* dapat mendukung untuk mengecek keseragaman mutu bangunan tersebut. Selanjutnya untuk pekerjaan *non Destructive Test* dapat dilakukan menyebar yang dapat mewakili keseluruhan elemen struktur yang nantinya perlu diolah untuk digunakan sebagai data dalam mengecek kelayakan bangunan.

2. Memahami pengambilan sampel yang baik dan benar di lapangan

Pengambilan sampel perlu diperhatikan terutama sesuai dengan kebutuhan dari *engineer* dalam menganalisa. Oleh karena tidak seluruh elemen struktur bangunan akan diambil sampelnya maka perlu diperhatikan dalam penentuan titik sampel yang mampu mewakili keseluruhan bangunan. Sebagai contoh pengambilan sampel bobokan untuk mengetahui penulangan dilakukan masing-masing setiap tipe balok, kolom ataupun plat. Bobokan pun juga dilakukan pada tumpuan dan lapangan terutama pada elemen balok. Selanjutnya pekerjaan *core drill* dilakukan pada masing-masing elemen struktur seperti pada balok, kolom, dan plat. Berdasarkan SNI 03-2492-2002 tentang "Metode Pengambilan dan Pengujian Beton Inti" sendiri menginfokan dimana pada sub.bab 4.2 tentang panjang beton inti. Dalam menentukan panjang beton inti yang akan diambil untuk uji kuat tekan harus memperhitungkan :

- a) Diameter beton inti dengan ukuran minimum 100 mm;
- b) Pengukuran panjang beton inti, sesuai metode uji

ASTM C 174;

- c) Faktor perbandingan perlu ditentukan, apakah terhadap kuat tekan kubus atau terhadap kuat tekan silinder.

Pekerjaan *levelling* lantai sebaiknya perlu dilakukan dari bawah lantai bukan atas lantai, sehingga indikasi lendutan dari plat lantai ataupun balok lebih terlihat. Jumlah titik yang ditentukan dan disesuaikan juga perlu diperhatikan agar banyaknya jumlah titik *levelling* akan menciptakan kontur yang lebih baik terutama pada lantai yang diindikasi memiliki lendutan. Sedangkan untuk pekerjaan *non Destructive Test* lainnya pengambilan sampel relatif tidak akan mengganggu struktur bangunan, hanya perlu diperhatikan dalam penentuan titik nya yang harus tersebar dan dapat mewakili keseluruhan bangunan agar nantinya dapat lebih mewakili bangunan ketika dilakukan analisis terhadap kelayakan bangunan tersebut.

3. Keselamatan dan keamanan dalam bekerja

Keselamatan dan keamanan dalam bekerja merupakan peranan penting dalam menyelesaikan pekerjaan penyelidikan struktur. Dimana jika keselamatan dan keamanan kerja berjalan dengan baik maka pekerjaan tersebut juga dapat optimal dan tidak terkendala. Sehingga pelaksanaan pekerjaan penyelidikan struktur perlu memperhatikan hal tersebut, berdasarkan "Modul 3 Pengetahuan Dasar Keselamatan Konstruksi" oleh Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat menjelaskan terkait keselamatan konstruksi. Prinsip keselamatan kerja dalam setiap pekerjaan harus dilaksanakan dengan aman dan selamat. Suatu kecelakaan yang terjadi dapat dikarenakan faktor manusia, peralatan, ataupun keduanya. Penyebab kecelakaan ini harus segera ditangani untuk menghindari terjadinya kecelakaan kerja. Hal-hal yang perlu diketahui agar pekerjaan dapat dilakukan dengan aman, antara lain:

- a. Mengenal dan memahami pekerjaan yang akan dilakukan
- b. Mengetahui bahaya-bahaya yang bisa timbul dari pekerjaan yang akan dilakukan
- c. Menggunakan Alat Pelindung Diri (APD)



Gambar 11. Penggunaan Alat Pelindung Diri

4. Pemahaman mengenai penggunaan alat & fungsinya

Seorang operator perlu memahami dan mengetahui bagaimana teknis dan cara penggunaan alat yang digunakan untuk pengambilan sampel. Sehingga perlu dilakukannya pelatihan dan pengawasan ketika masih penggunaan awal alat tersebut. Selain itu perlunya ada minimal 2 orang selama pekerjaan penggunaan alat agar dapat saling memperhatikan dan mengurangi resiko

- kesalahan dan *human error* selama menggunakan alat tersebut. Sehingga dengan operator yang sudah memahami fungsi dan cara penggunaan alat, dapat mengurangi resiko kerusakan pada alat yang digunakan dan resiko kecelakaan oleh operator ketika pekerjaan sehingga pekerjaan dapat lebih efisien dan optimal.
5. Etika dalam pengambilan sampel agar tidak mengganggu operasional dari bangunan tersebut

Pekerjaan penyelidikan struktur pada bangunan aktif perlu memperhatikan lingkungan sekitar dan tipe pekerjaan yang dilakukan. Oleh karena itu perlunya ada koordinasi dari kepala tim proyek dengan penanggung jawab bangunan tersebut. Ketika pekerjaan yang dilakukan tidak mengganggu seperti pekerjaan *non Destructive Test* dapat dilakukan ketika jam kerja pada beberapa titik atau area tertentu dengan ijin akses. Akan tetapi, ketika pekerjaan *Destructive Test* dengan resiko mengganggu yang cukup besar dapat dilakukan ketika bangunan tersebut tidak sedang beroperasional seperti diluar jam kerja atau malam hari ataupun di hari libur. Selain itu juga perlu diberi rambu atau tanda khusus yang digunakan untuk menginformasikan adanya pekerjaan konstruksi di area tersebut. Agar dapat menghindari resiko pengguna bangunan mengalami resiko kecelakaan. Sehingga jika bangunan masih aktif kita dapat menghindari resiko mengganggu operasional dari bangunan tersebut.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pemaparan yang telah diberikan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pemeriksaan bangunan dan pemodelan 3D dimensi struktur eksisting pada program sudah sesuai dengan spesifikasi yang diperoleh dari pengamatan di lapangan dan disesuaikan menggunakan beban gempa sesuai dengan ASCE 41-17
2. Pekerjaan lapangan pada penyelidikan struktur memiliki resiko yang cukup besar berdasarkan identifikasi resiko yang telah dilakukan, baik terhadap bangunan struktur ataupun tim yang melakukan penyelidikan struktur, sehingga antisipasi dan rekomendasi dalam menangani resiko tersebut perlu dilakukan untuk menghindari resiko di lapangan terjadi, agar pekerjaan penyelidikan dapat berjalan.

3. Pertimbangan aspek keinsinyuran dalam pekerjaan penyelidikan struktur terbukti mampu meningkatkan kewaspadaan terhadap resiko yang dapat terjadi baik terhadap bangunan struktur, tim pelaksana, bahkan pengguna bangunan dan orang di sekitar serta dapat meningkatkan efisiensi dan mengoptimalkan pekerjaan.

E. UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Dosen Pembimbing Program Profesi Insinyur Bapak Ir. Jimmy Chandra, S.T.,M.Eng.,Ph.D. Terimakasih kepada seluruh tim pelaksanaan penyelidikan struktur Bangunan mal di Bandung yang telah membantu menyelesaikan proyek. Terimakasih juga kepada Pimpinan Konsultan yang telah mendukung dan memberikan kesempatan untuk menjalankan pendidikan di Program Studi Profesi Insinyur Universitas Kristen Petra.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standardisasi Nasional. (2018). SNI 03-2492-2018 Metode Pengambilan dan Pengujian Beton Inti. Indonesia
- [2] Bureau of Indian Standards. (1992). Non-Destructive Testing of Concrete – Methods of Test, Part 1 Ultrasonic Pulse Velocity. New Dehli, India
- [3] Badan Standardisasi Nasional. (2021). SNI ASTM C597:2012 tentang Metode Uji Kecepatan Rambat Gelombang Melalui Beton. Indonesia
- [4] Badan Standardisasi Nasional. (2017). SNI 8461:2017 Metode Uji Kekerasan Leeb untuk Besi dan Baja. Indonesia
- [5] Badan Standardisasi Nasional. (2021). SNI 8458:2017 tentang Metode Uji Pengencangan Baut Mutu Tinggi. Indonesia
- [6] Deri, F., & Dede. (Agustus 2022). Teknik Pengambilan Sampel Umum dalam Metodologi Penelitian: Literature Review. Jurnal Ilmiah Pendidikan Holistik (JIPH). [Online]. Vol.1, No.2 2022:85-114. Tersedia :<https://journal.formosapublisher.org/index.php/jiph/article/view/937>
- [7] Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia. (2019) Modul 3 Pengetahuan Dasar Keselamatan Konstruksi. Pelatihan Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK). Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan rakyat. Indonesia
- [8] Rizky, D. P., & Evi, W. (Oktober 2022). Implementasi Standar K3 Ketinggian Sebagai Upaya Pencegahan Kecelakaan Kerja di Proyek X (Studi Kasus Pembangunan Gedung X kota Semarang). Higeia Journal of Public Health Research and Development. [Online]. HIGEIA 6 (4) (2022). Tersedia:<http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/higeia>
- [9] Cut, N. A., Muttaqin, H., & Mochammad, A. (Desember 2019). Analisis Kegagalan Struktur Ruang Aula Gedung Serbaguna Kabupaten Pidie Jaya. Jurnal of The Civil Engineering Student. [Online]. Vol. 1. No. 3 Tersedia :<https://jim.usk.ac.id/CES/article/view/7864>
- [10] <https://hesa.co.id/nondestructive-testing/ultrasonic-pulse-velocity-test-upvt/>
- [11] <https://testindo.com/article/489/kerusakan-mesin-industri>
- [12] Moleong, L. J. (2017). Metode Penelitian Kualitatif. Bandung: PT. Remaja Rosdakarya