

PENYELIDIKAN STRUKTUR BANGUNAN CAGAR BUDAYA PASAR JOHAR SEMARANG

Proses awal pelaksanaan rehabilitasi bangunan cagar budaya

STRUCTURE INVESTIGATION OF THE CULTURAL HERITAGE BUILDING JOHAR MARKET AT SEMARANG

*The initial process of implementing the rehabilitation of cultural
heritage buildings*

**Sriwati Purnomo¹, Juniantoro Suryanto², Ivan Sandi Darma³, Antonius
Ardiyanto⁴**

Universitas Katolik Soegijapranata Semarang^{1,4}

Institut Teknologi Bandung^{2,3}

email: sriwatipurnomo16@gmail.com, juniantorosuryanto@gmail.com,
i_sandi_darma@yahoo.com, ardiyanto@unika.ac.id

ABSTRAK

Pasar Johar kota Semarang adalah bangunan cagar budaya bermaterial beton. Terbakar 9 Mei 2015. Kebakaran tersebut merusak elemen non-struktural dan elemen struktural.

Tujuan dari penelitian ini adalah menggambarkan proses penyelidikan struktur sebelum melaksanakan konservasi bangunan cagar budaya. Penyelidikan ini akan menentukan kondisi dan tingkat kerusakan bangunan.

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif deskriptif. Menjabarkan secara detail proses penyelidikan struktur pada tahun 2017.

Penyelidikan struktur ini menentukan sistem perkuatan pada proses konservasi pasar Johar, yang merupakan implementasi dari nilai penting akan keselamatan masyarakat pengguna pasar Johar dan sebagai landasan sebuah proses konservasi bangunan cagar budaya.

Kata Kunci: Bangunan cagar budaya, konservasi bangunan, investigasi struktur bangunan.

ABSTRACT

Johar Market in Semarang is a cultural heritage building made of concrete. Burned May 9, 2015. The fire damaged non-structural elements and structural elements.

The purpose of this study is to describe the investigation process before carrying out the conservation of cultural heritage buildings. This investigation will determine the condition and extent of damage to the building.

This study used descriptive qualitative method. Describes in detail structural investigation in 2017.

This structural investigation determines the strengthening system in the Johar market conservation process, which is the implementation of the important safety value of the Johar market user community and as the basis for a process of conserving cultural heritage buildings.

Keywords: Cultural heritage buildings, building conservation, investigation of building structures.

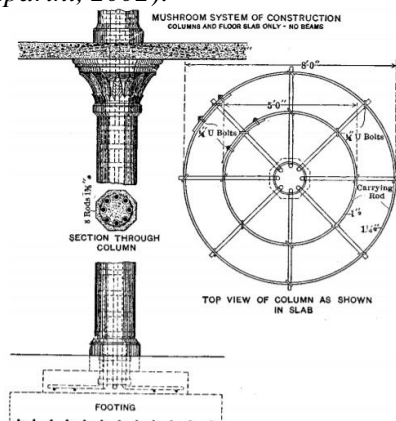
A. PENDAHULUAN

Pasar Johar adalah pasar induk di kota Semarang yang usianya sudah lebih dari 80 tahun dan sudah ditetapkan sebagai Bangunan

Cagar Budaya dengan Nomor registrasi RNCB. 20100108. 02.000305 (<http://cagarbudaya.kemdikbud.go.id/>).

Pasar Johar Semarang diresmikan pada 10 Juni 1939. Oleh arsiteknya Herman Thomas Karsten, dirancang atas wujud kepedulian terhadap lingkungan, pemenuhan kesejahteraan pedagang kecil dan kehidupan sehari-hari para pedagang pasar tradisional yang memiliki perilaku serta kebiasaannya berdagang di bawah pohon dengan cahaya alami dan menghirup udara alami.

Untuk mencapai ruang interior yang luas, rapi, dan indah, Karsten memilih sistem struktur *flat slab* dengan material beton bertulang, awal yang membangkitkan bentuk alami dan memiliki resonansi struktural dengan tumbuhan. Kolom pada bangunan pasar Johar berbentuk dasar segi delapan. Pada bagian atasnya melebar, sehingga bentuknya menyerupai cendawan (Jamur). Bentuk dan sistem struktur tersebut mengadopsi sistem yang telah dipatenkan pada tahun 1905 oleh Claude A.P. Turner (*Gasparini, 2002*).



Gambar 1. C.A.P Turner's "Mushroom" flat-slab concept.

(Sumber: Gasparini, 2002, 1246)

Sistem ini memungkinkan untuk membuang sebagian besar kayu atau bambu khas pasar lama, yang menampung serangga dan tikus dan dapat membusuk dalam kondisi basah. "Semua permukaan dapat dicuci secara efektif. Atap beton dapat dengan mudah dikeringkan dari air hujan, dalam beberapa kasus melalui pipa turun di kolom, dan setiap kolom modular dan area pendukung atap dapat diatur ketinggiannya untuk memungkinkan bagian yang tumpang tindih dengan celah untuk menyediakan pencahayaan alami dan ventilasi. (*Cote et.al, 2017*).

Seiring dengan berjalannya waktu, pedagang tidak lagi berjualan pada batas lapaknya, ruang kosong yang diperuntukkan bagi sirkulasi pembeli digunakan untuk meletakkan barang dagangannya. Tangga yang seharusnya bukan tempat berjualan menjadi tempat meletakkan barang dagangan. Tidak ada perhatian terhadap kenyamanan, keamanan dan kebersihan pasar Johar.



Gambar 2.

Sirkulasi pengguna sempit, karena digunakan sebagai tempat berjualan.

(Sumber: Krisprantono, 2005)

Standar pemenuhan kebutuhan akan penghawaan alami dan pencahayaan alami tidak bisa tercapai. Pedagang memasang alat-alat elektronik secara sembarangan, sehingga beban listrik berlebih, kabel terpasang dimana-mana tanpa aturan. Sangat berbahaya bagi semua pengguna pasar Johar.

Hal yang ditakutkan pun terjadi, pasar Johar terbakar pada 9 Mei 2015. Diduga berasal dari korsleting listrik salah satu toko yang menjadi penyebab kebakaran tersebut.

Pemerintah berupaya mencari solusi akan kondisi bangunan pasar Johar tentunya dengan memperhatikan nilai sejarah, umur serta kerusakan yang telah dialami oleh struktur bangunan. Diawali dengan diskusi dengan seluruh pihak terkait, pemangku kepentingan dan masyarakat yang peduli dengan pelestarian bangunan cagar budaya pasar Johar. Dengan harapan pemanfaatan bangunan pasar Johar yang akan datang, harus memperhatikan batas keandalan bangunan serta nilai penting sejarah bangunan tersebut. Keputusan pemerintah untuk melakukan rehabilitasi bangunan pasar Johar dirasa menjadi langkah yang tepat dan bijak dengan

mempertimbangkan nilai sejarah dan teknologi yang berkembang saat ini.

Kebakaran tersebut secara fisik merusak tidak hanya elemen non-struktural namun juga berdampak pada elemen struktural bangunan. Kerusakan pada elemen struktur tentunya diperburuk oleh deteriorasi yang terjadi selama bangunan tersebut difungsikan baik akibat beban maupun aksi lingkungan. Proses perbaikan, perkuatan sebuah bangunan cagar budaya tentunya berbeda dengan proses yang sama untuk bangunan umum lainnya. Sebuah proses konservasi yang melibatkan kiprah semua disiplin ilmu. Langkah sabar dan cerdas kolaborasi keilmuan para ahli disemua bidang adalah awalan proses yang tidak bisa dihilangkan. Sehingga pasar Johar dapat menjadi bangunan yang nyaman dan andal untuk digunakan banyak orang.

B. STUDI PUSTAKA

Konservasi merupakan suatu upaya untuk melestarikan bangunan atau lingkungan, mengatur penggunaan serta arah perkembangannya sesuai dengan kebutuhan saat ini dan masa mendatang sedemikian rupa sehingga makna kulturalnya akan dapat tetap terpelihara. (Sidharta dan Budihardjo, 1989).

Struktural dasar struktur jamur terdiri dari pondasi tunggal, satu kolom dan atap. Bisa menjadi struktur tunggal yang di pabrikan diluar. Cara yang luar biasa untuk menyatukan unit tunggal menjadi satu bangunan. Struktur kantilever vertikal, kantilever adalah balok dengan penyangga hanya pada satu sisi, lebih dari 50% total massa struktur berada di sisi atas. Beberapa arsitek terkenal menggunakan konstruksi ini. *Mushroom Structures*. (Lara Slivnik, 2018).

Memberikan gambaran komprehensif tentang teknik yang terlibat dalam pengujian beton dalam struktur, Pengujian Beton dalam Struktur membahas teknik yang sudah ada dan metode baru, menunjukkan potensi untuk pengembangan di masa depan, dan mendokumentasikannya dengan contoh ilustratif. Topik telah diperluas di mana kemajuan signifikan telah terjadi di lapangan, misalnya penilaian integritas, radar bawah permukaan, penilaian korosi dan tes respons dinamis lokal. Tren baru dalam peralatan dan prosedur, seperti kelanjutan dari langkah umum untuk mengotomatisasi metode

pengujian dan perkembangan teknologi digital dan semakin pentingnya pemantauan kinerja, dan mencakup referensi standar yang baru dan diperbarui. (Bungey, et.al, 2018, Sandi Darma, 2018).

Secara umum, semakin tinggi angka pantul pada suatu permukaan beton yang didapat melalui *rebound hammer test* menggambarkan tingginya kekerasan atau kepadatan permukaan beton. Hal ini dapat mengindikasikan kualitas permukaan beton dan juga dapat juga digunakan sebagai penilaian kualitas selimut beton (Brencich et.al, 2020, Bungey, et.al, 2006, Malhotra and Carino, 2003, Malhotra, 1976).

C. METODE PENELITIAN

Penyelidikan struktur pasar Johar dilakukan pasca kebakaran tahun 2017, sebelum pelaksanaan rehabilitasi bangunan dimulai. Pada bangunan cagar budaya yang umur bangunannya sudah sangat tua, diduga mempunyai struktur yang berbeda dari sistem struktur terbaru saat tahun 2017 yang di syaratkan oleh regulasi terbaru saat itu.

Penulisan jurnal ini menggunakan metode penulisan kualitatif deskriptif, menjelaskan secara detail penyelidikan struktur yang dilakukan pada tahun 2017.

D. PENYELIDIKAN STRUKTUR

D.1. KONDISI EKSISTING BANGUNAN

Kebakaran pasar Johar melahap seluruh bangunan. Pasar Johar adalah bangunan cagar budaya bermaterial beton. Pasca kebakaran kondisi bangunan masih berdiri utuh, terlihat selimut beton beberapa rusak, hangus dan dibeberapa tempat terkelupas.



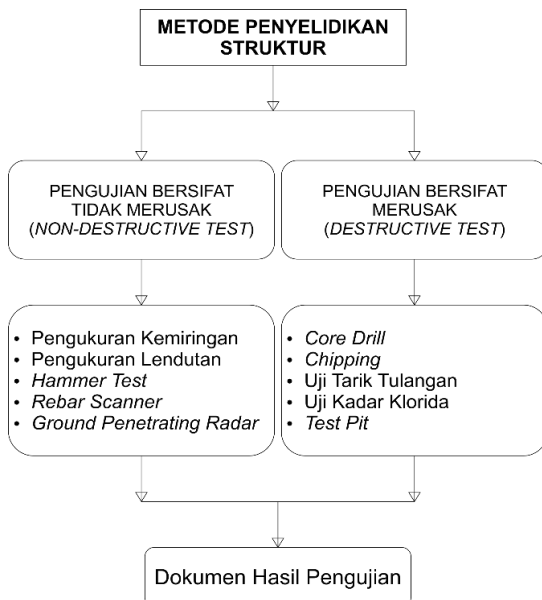
Gambar 3.

Kondisi bangunan pasca kebakaran.
(Sumber: Penulis, 2017)

Justifikasi keandalan bangunan diperlukan untuk menentukan apakah bangunan pasar Johar masih bisa di pertahankan dan diperkuat. Pada proses penyelidikan struktur pasar Johar dilakukan pada elemen pondasi, kolom, plat lantai mezanin dan plat atap. Seluruh penyelidikan dilakukan dengan peralatan modern yang sangat teliti.

D.1. METODE PENYELIDIKAN STRUKTUR

Hal yang harus diingat khususnya sebuah bangunan cagar budaya adalah ketidaktersediaan informasi terkait bangunan itu sendiri terlebih bangunan tersebut bukan sebagai bangunan museum yang umumnya dilakukan perawatan secara rutin. Sehubungan dengan hal tersebut penelitian pada Bangunan Cagar Budaya Pasar Johar tidak hanya ditujukan untuk mengetahui jenis material dan tingkat kerusakannya namun juga pada aspek dimensi dan geometri. Penyelidikan struktur secara menyeluruh yang mengombinasikan teknik pengujian yang bersifat merusak (*destructive test*) dan tidak merusak (*non-destructive test*) digunakan untuk mengetahui kondisi dan tingkat kerusakan bangunan (Bungey, et.al, 2006, Sandi Darma, 2018).



Gambar 4. Flowchart Metode Penyelidikan Struktur bangunan cagar budaya pasca terbakar. (Sumber: Penulis, 2017)

D.2. JENIS PENGUJIAN

Tabel 1. Jenis Pengujian dan alat yang digunakan.

| NO | JENIS PENGUJIAN | ALAT |
|----|------------------------------|-------------------------|
| 1 | Kemiringan struktur vertikal | Total Station |
| 2 | Elevasi muka lantai | Waterpass |
| 3 | Hammer Test | Schmidt Hammer |
| 4 | Rebar Scan | Cover meter |
| 5 | Core Drill | Core Drill |
| 6 | Chipping | Jack hammer |
| 7 | Uji tarik tulangan | General testing machine |
| 8 | Uji kadar klorida | Larutan Hg 2+ |
| 9 | Loading test | Data logger, LVDT |
| 10 | Ground Penetrating Radar | Georadar |
| 11 | Test Pit | Alat-alat gali |

D.2.1. PENGUJIAN KEMIRINGAN STRUKTUR VERTIKAL

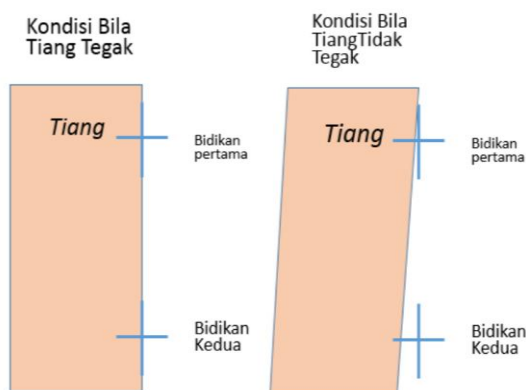
Pada pengujian kemiringan struktur vertikal menggunakan alat *total station* dan *waterpass*, berfungsi untuk mendeskripsikan kondisi geometri bangunan. Total station digunakan untuk mengukur kemiringan elemen struktur vertikal dari suatu bangunan dalam hal ini adalah struktur kolom. Sedangkan *waterpass* digunakan untuk mendeteksi dan mengukur lendutan yang terjadi pada elemen struktur pelat dan balok.

Jenis total station yang digunakan dalam mengukur kemiringan struktur kolom yakni Topcon GTS-255 dengan tingkat keakurasian tinggi sebesar $\pm(2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm} \times D)$ m.s.e. Pengukuran kemiringan dilakukan dengan memanfaatkan salib sumbu bidikan yang terdapat pada teropong *total station*. Dalam kondisi ideal (tiang dalam kondisi tegak) salib sumbu bidikan pada teropong akan selalu berimpit pada siku dari masing-masing tiang, namun apabila kondisi tiang tidak tegak maka bidikan kedua (di bawah) akan tidak berimpit dengan siku pada masing-masing tiang. Penyimpangan antara bidikan pertama dan kedua merupakan besaran dari kemiringan tiang tersebut.



Gambar 5.
Total station, Topcon GTS-255
(Sumber: <https://www.topcon.co.jp>)

Pengukuran kemiringan dilakukan pada struktur kolom bangunan Pasar Johar baik pada kolom tinggi di area void maupun kolom pada area mezanin.



Gambar 6.
Ilustrasi pengukuran kemiringan dengan total station.
(Sumber: Sandi Darma, 2017)

Struktur kolom pasar Johar memiliki bentuk octagon (bersudut 8), sehubungan dengan hal tersebut demi memudahkan pengukuran setiap sudut dari tiang diberikan nama A hingga H. untuk memudahkan interpretasi, arah kemiringan dibagi menjadi Utara-Selatan dan Timur-Barat. Dari dilakukan dengan mengukur simpangan pada sisi CD atau GH. Pengamatan dua sisi ditujukan agar arah kemiringan tiang dapat direpresentasikan lebih baik. Selanjutnya untuk kemiringan arah utara-selatan bidikan dilakukan pada sisi EF atau AB. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa secara

umum terjadi kemiringan pada kolom di lantai 1 dan 2 pada arah timur-selatan bangunan.



Gambar 7.
Pengukuran kemiringan untuk arah barat-timur.
(Sumber: Sandi Darma, 2017)

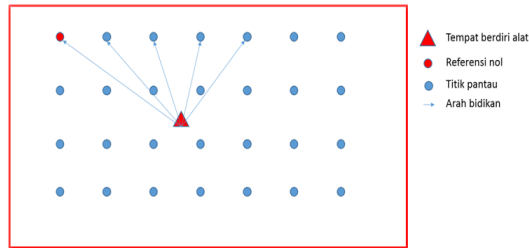
D.2.2. PENGUJIAN ELEVASI MUKA LANTAI

Pengukuran beda tinggi dalam pengukuran struktur pelat digunakan pengukuran sipat datar memanjang, dengan satu set alat digital waterpass beserta penunjangnya. Merek dan tipe digital waterpass yang digunakan adalah Leica Sprinter 150M, dengan tingkat akurasi sebesar 10 mm untuk jarak tembak kurang dari 10 m. Sedangkan untuk jarak tembak lebih dari 10 m maka tingkat akurasi sebesar 0.001 jarak tembak.



Gambar 8.
Waterpass, Leica sprinter 150M.
(Sumber: <https://leica-geosystems.com>)

Pada metoda pengukuran beda tinggi atau lendutan pada struktur pelat. Pengukuran beda tinggi dilakukan secara relatif dengan menjadikan salah satu titik sebagai elevasi nol, dengan demikian seluruh titik pengamatan seharusnya bernilai nol apabila deck dalam kondisi ideal



Gambar 9.

Ilustrasi pengukuran lendutan struktur pelat dengan menggunakan waterpass. (Sumber: Sandi Darma, 2017)

Pengukuran lendutan pada pelat lantai di bangunan pasar johar dengan mengambil satu lokasi penempatan alat dan titik referensi nol (biasanya di ujung atau tengah pelat) dilakukan pemantauan di beberapa titik dari lokasi penempatan *waterpass*.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa rata-rata lendutan yang dialami oleh struktur pelat lantai akibat paparan suhu tinggi selama kebakaran berlangsung adalah sebesar 8.1 mm.

D.2.3. HAMMER TEST

Hammer test adalah pengujian kualitas (permukaan) dan keseragaman material beton di elemen struktur. berdasarkan SNI 03-4430-1997 “Metoda pengujian elemen struktur beton dengan alat palu beton tipe N dan NR”

Metoda pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban impak (tumbukan) pada permukaan beton dengan menggunakan suatu massa yang diaktifkan dengan memberikan suatu besaran energi yang telah ditentukan. Nilai pantul (*rebound number*) yang timbul setelah terjadi tumbukan dengan permukaan beton benda uji menggambarkan kekerasan atau kepadatan permukaan beton yang diuji. Kekerasan atau kepadatan permukaan beton yang didapat melalui *rebound hammer test* dapat digunakan untuk memberikan gambaran mengenai kualitas permukaan beton (Bungey, et.al, 2006).

Secara umum, semakin tinggi angka pantul pada suatu permukaan beton yang didapat melalui *rebound hammer test* menggambarkan tingginya kekerasan atau kepadatan permukaan beton. Hal ini dapat mengindikasikan kualitas permukaan beton dan juga dapat juga digunakan sebagai penilaian kualitas selimut beton (Brencich

et.al, 2020, Bungey, et.al, 2006, Malhotra and Carino, 2003, Malhotra, 1976).

Tabel 2. Korelasi angka pantul terhadap kualitas permukaan beton.

| Angka pantul | Kualitas Beton |
|--------------|----------------|
| >40 | Sangat baik |
| 30 - 40 | Baik |
| 20 - 30 | Cukup |
| <20 | Buruk |

Sumber: Brencich et.al, 2020, Bungey, et.al, 2006, Malhotra and Carino, 2003, Malhotra, 1976

Jenis hammer yang dipakai untuk mengevaluasi kualitas beton di bangunan pasar johar adalah jenis *Schmidt hammer*. Alat ini sangat berguna untuk mengetahui keseragaman material beton pada struktur. Karena kesederhanaannya, pengujian dengan menggunakan alat ini dapat dilakukan dengan cepat, sehingga dapat mencakup area pengujian yang luas dalam waktu yang singkat.



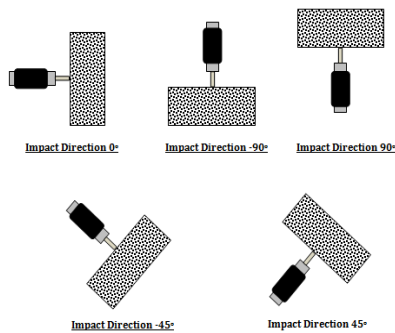
Gambar 10.

Alat untuk *hammer test* @Proceq (Sumber: <https://teknologisurvey.com/>)

Alat ini sangat peka terhadap variasi yang ada pada permukaan beton, misalnya keberadaan partikel batu pada bagian-bagian tertentu dekat permukaan (Bungey, et.al, 2006). Oleh karena itu, diperlukan pengambilan beberapa kali pembacaan di sekitar lokasi pengukuran, yang hasilnya kemudian dirata-ratakan. Untuk mendapatkan data yang baik, dilakukan pengambilan antara 9 sampai 25 kali pembacaan untuk setiap daerah pengujian seluas maksimum 300 mm²,

jarak antara dua lokasi pengukuran tidak boleh kurang dari 20 mm (SNI 03-4430-1997).

Nilai angka pantul *rebound hammer test* tergantung pada posisi atau arah penempatan alat *hammer* pada permukaan elemen struktur. Pada pelaksanaan terdapat lima cara penempatan alat *hammer* dalam pengambilan data pantulan.



Gambar 11.

Arah penempatan alat *hammer*.
(Sumber: Malhotra, 1976)

Pengujian *hammer test* di bangunan pasar Johar dilakukan pada elemen struktur kolom dan pelat. Arah tembakan *hammer* untuk kolom adalah 0 derajat sedangkan untuk pelat adalah 90 derajat.



Gambar 12.

Pengujian *hammer test*, a) struktur kolom, b) struktur pelat.
(Sumber: Penulis, 2017)

Hasil pengujian *hammer test* dapat digunakan untuk memprediksi kuat tekan beton secara kualitatif ataupun secara kuantitatif. Patil et.al (2015) mengkorelasikan nilai angka pantul yang didapat melalui pengujian *Schmidt hammer* dapat digunakan untuk menjustifikasi kualitas selimut dan selimut beton.

D.2.4. REBAR SCAN

Pengujian *Rebar Scan* adalah pengujian untuk mengetahui posisi tulangan dan ketebalan selimut beton. Sehubungan dengan hal tersebut konfigurasi tulangan seperti jarak antar tulangan dan besar diameter tulangan dapat diprediksi. Penggunaan rebar scanner telah banyak diterapkan di beberapa dalam kegiatan investigasi bangunan (Allidred, 1995; Utsi and Utsi, 2004; Mazumder and Ansary, 2012; Cikrle et.al, 2018)

Teknologi yang digunakan adalah *the pulse-induction method*, dimana metoda ini didasarkan pada induksi gelombang elektromagnetik untuk mendeteksi baja tulangan. *Coil* pada *probe* secara periodik dibebani arus gelombang sehingga menghasilkan medan magnet. Pada permukaan bahan yang konduktif akan menginduksi medan magnet dalam arah yang berlawanan. Perubahan yang dihasilkan dalam tegangan ini yang digunakan untuk pengukuran. Baja tulangan yang lebih dekat dengan *probe* atau ukuran yang lebih besar akan menghasilkan medan magnet yang kuat (Bungey, et.al, 2006, Sandi Darma, 2017).

Pemrosesan sinyal selain membantu melokalisasi pembacaan baja tulangan, juga dapat menentukan tebal selimut beton dan mengestimasi diameter tulangan. Metoda ini tidak dipengaruhi oleh bahan non konduktif seperti beton, kayu, plastik, batu bata, dll. Namun setiap jenis bahan konduktif dalam medan magnet akan memiliki pengaruh pada hasil pengukuran.

Cover meter atau Rebar scanner yang digunakan dalam kegiatan investigasi bangunan pasar Johar yakni rebar scan ZBL R-800.



Gambar 13.

Rebar scan @ZBL R-800

(Sumber: <https://www.zbltest.com>)

Spesifikasi rebar scanner ZBL R-800, mampu mendeteksi tulangan dari diameter 6 mm hingga 50 mm. Kedalaman tulangan yang mampu di deteksi adalah hingga 196 mm untuk tulangan dengan diameter 50 mm.

Tabel 3.
Spesifikasi rebar scanner ZBL R-800.

| Rentang diameter tulangan | 6 mm s/d 50 mm | |
|---------------------------|-----------------|---------------|
| | Rentang pertama | Rentang kedua |
| Kedalaman selimut beton | 3 ~ 98 | 3 ~ 196 |
| Error maksimum | ± 1 mm | 6 ~ 56 |
| untuk kedalaman | ± 2 mm | 3 ~ 77 |
| selimut beton | ± 3 mm | 58 ~ 69 |
| | | 80 ~ 118 |
| | | 70 ~ 98 |
| | | 120 ~ 196 |

Sumber: Sandi Darma, 2017

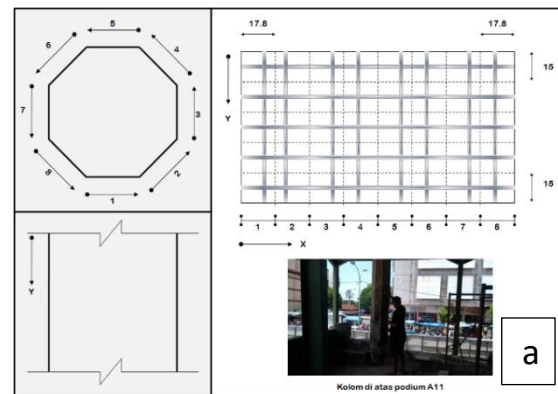
Hal yang perlu diperhatikan pada alat ini adalah *error* prediksi selimut beton akan semakin besar jika diameter tulangan semakin kecil dan posisi tulangan semakin dalam dari permukaan beton atau selimut beton semakin besar. Namun dengan memperhatikan bahwa selimut beton yang terpasang baik pada struktur kolom dan pelat adalah relatif kecil yakni 20 hingga 35 mm maka berdasarkan spesifikasi tersebut keandalan alat ini adalah baik.

Pelaksanaan *rebar scan* di struktur kolom dan pelat bangunan pasar Johar. Untuk struktur kolom, pemindaian dilakukan pada kedua arah yakni lateral searah keliling penampang kolom dan vertikal ke atas dan bawah. Pemindaian arah lateral ditujukan untuk mendeteksi dan menghitung jumlah tulangan longitudinal kolom. Sedangkan untuk arah vertikal bertujuan untuk mengukur jarak antar tulangan sengkang.

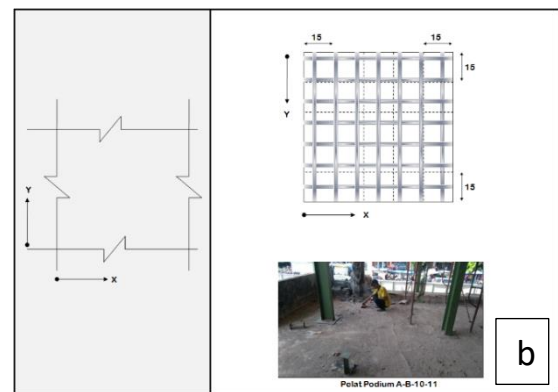
Pada struktur pelat, proses pemindaian juga dilakukan pada kedua arah yakni utara-selatan dan barat-timur di permukaan pelat. Hal ini tentunya bertujuan untuk mengetahui jarak tulangan pelat di kedua arah.

Hasil pemindaian dengan menggunakan *rebar scan* disajikan dalam bentuk gambar penampang elemen stuktur yang berisi perkiraan konfigurasi tulangan diantaranya jumlah tulangan dan kedalaman selimut beton. Sebagai gambaran, struktur kolom terdapat 8 tulangan longitudinal yang tersebar merata di kedelapan sisi penampang. Sedangkan tulangan geser berjarak 150 mm.

Selanjutnya untuk struktur pelat diketahui menggunakan sistem tulangan dua lapis (atas dan bawah) dimana pada masing-masing lapisan tulangan terpasang di kedua arah.



Gambar 14.
Pengujian rebar scan pada struktur kolom.
(Sumber: Sandi Darma, 2017)



Gambar 15.
Pengujian rebar scan pada struktur pelat.
(Sumber: Sandi Darma, 2017)

D.2.5. PENGAMBILAN SAMPEL BETON INTI

Pelaksanaan pengambilan beton inti bertujuan untuk mendapatkan sampel beton eksisting dari suatu elemen struktur bangunan. Peralatan untuk mendapatkan beton ini adalah Coring Machine HILTI.

Ukuran sampel beton inti yang didapatkan melalui metoda core drill terdiri dari berbagai jenis ukuran bergantung pada ukuran *core bit* yang digunakan.



Gambar 16.
Coring Machine (HILTI)
(Sumber: <https://www.hilti.co.id/>)

Ukuran *core bit* yang umumnya digunakan untuk mendapatkan sampel beton inti adalah 3 in dan 4 in dan terkadang dapat juga menggunakan *core bit* dengan ukuran yang lebih besar maupun lebih kecil dari ukuran yang telah disebutkan. Pemilihan ukuran *core bit* ini pada dasarnya bergantung pada ukuran elemen struktur dan ukuran agregat yang digunakan. Penggunaan *core bit* dengan ukuran yang cukup besar relatif terhadap ukuran elemen struktur dikhawatirkan dapat memberikan kerusakan yang cukup berdampak pada kapasitas elemen struktur tersebut. Selain itu juga terdapat potensi resiko kerusakan lainnya seperti terputusnya tulangan pada elemen struktur tersebut pada saat proses pengambilan beton ini.

Penggunaan ukuran *core bit* yang terlalu kecil relatif terhadap ukuran agregat juga dikhawatirkan tidak merepresentasikan kondisi beton sebenarnya karena besar kemungkinan beton inti yang didapat didominasi oleh agregat dengan ukuran yang relatif besar. Pelaksanaan pengambilan sampel beton inti pada suatu elemen struktur didasarkan oleh peraturan yang tertera pada SNI 03-2492-2002 "Metode Pengambilan dan Pengujian Beton Inti".

Sampel beton inti yang telah di ekstrak pada masing-masing elemen struktur digunakan dapat untuk mempelajari kondisi dan kualitas material beton eksisting yang terpasang di suatu bangunan seperti yang dijelaskan oleh Ong and Nandakumar (1999).

Pelaksanaan pengambilan sampel beton inti dilakukan pada seluruh elemen struktur pada bangunan pasar Johar, yakni pondasi, kolom dan pelat. Hal ini bertujuan untuk mengetahui

kualitas material beton eksisting baik setelah terbakar seperti kolom dan pelat maupun yang selalu bersentuhan dengan air dan tanah seperti pondasi.



Gambar 17.
Pelaksanaan *core drill*, a) Pondasi, b) Kolom, c) Pelat lantai.
(Sumber: Penulis, 2017)



Gambar 18.
Sampel beton inti.
(Sumber: Penulis, 2017)

Terdapat dua kendala utama yang dihadapi pada saat pelaksanaan *core drill*, pertama kualitas material beton yang saat tidak baik (agregat mudah terlepas dari ikatan mortar) yang menyebabkan sampel tidak dapat dikatakan layak untuk diuji sehingga perlu dilakukan pengambilan sampel beton inti kembali di lokasi berbeda pada suatu elemen struktur yang sama sehingga pastinya akan memberikan kerusakan tambahan bagi elemen struktur tersebut.

Yang *kedua* adalah adanya kenyataan bahwa terdapat saluran air di tengah penampang di beberapa penampang kolom sehingga terkadang didapat sampel beton inti dengan panjang sampel tidak memenuhi persyaratan untuk diuji, dalam hal ini kurang dari satu kali nilai diameter ($h < D$)

Dari sampel beton tersebut selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan yang bertujuan untuk mendapatkan kuat tekan aktual dari struktur bangunan eksisting. Pelaksanaan uji tekan sampel beton inti dilakukan berdasarkan SNI 03-3403-1994 "Metode Pengujian Kuat Tekan Beton Inti Pemboran".

Nilai kuat tekan rata-rata untuk masing-masing elemen struktur pada kolom, pelat dan pondasi secara berurutan adalah 5.32 MPa, 9.10 MPa dan 14.9 MPa. Nilai tersebut cukup relevan dengan mempertimbangan usia serta paparan suhu tinggi yang terjadi pada struktur bangunan tersebut.

D.2.6. CHIPPING (KUPAS SELIMUT BETON)

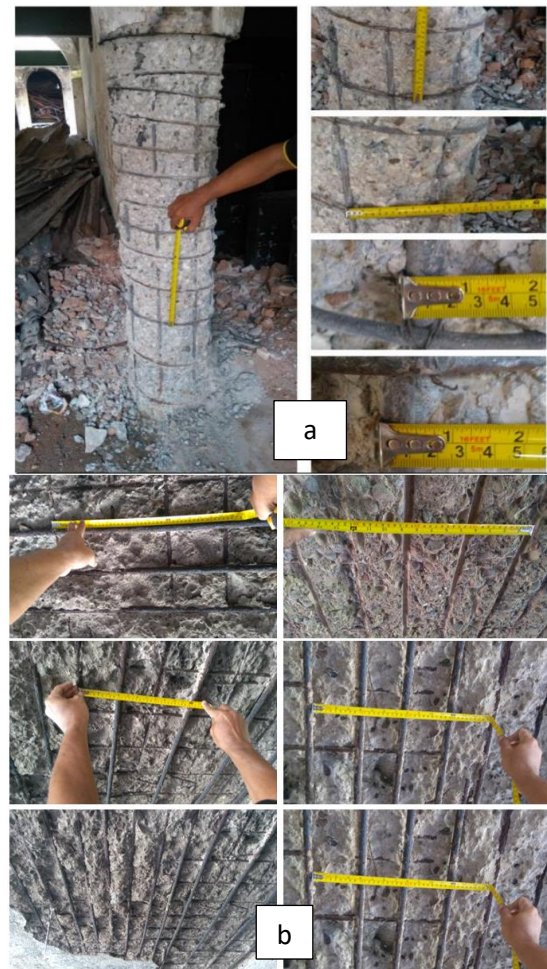
Pekerjaan *chipping* atau pengupasan selimut beton pada bangunan pasar Johar bertujuan untuk mengetahui diameter serta kondisi tulangan khususnya setelah paparan temperatur tinggi. Selain itu *chipping* juga dapat difungsikan untuk memverifikasi ketebalan selimut beton yang didapat melalui pengujian *rebar scan*.

Dengan mempertimbangkan kondisi bahwa material beton di elemen struktur bangunan Johar umumnya mengalami kerusakan akibat paparan temperatur tinggi maka metoda *chipping* yang diaplikasikan menggunakan alat bantu berupa palu dan pahat. Namun pada kasus dimana beton dalam kondisi baik maka alat berupa *jack hammer* dapat digunakan. Berdasarkan penjelasan tersebut, metoda yang digunakan untuk suatu pekerjaan *chipping* tentunya disesuaikan oleh kondisi material beton, posisi elemen struktur serta kedalaman posisi tulangan.

Dengan mempertimbangkan hal-hal tersebut, pelaksanaan pekerjaan *chipping* di bangunan pasar Johar hanya dilakukan pada elemen struktur kolom dan pelat. *Chipping* tidak dilakukan pada pondasi dengan pertimbangan keamanan struktur dan aspek lingkungan yang terjadi jika selimut beton

dikupas. Perlu diingat bahwa pondasi pasar Johar selalu bersentuhan dengan air dan tanah sehingga resiko korosi akan sangat besar terutama pada kondisi tanpa perlindungan selimut beton.

Hasil pekerjaan *chipping* elemen struktur pasar Johar pada gambar berikut dapat dilihat tebal selimut beton, diameter dan tipe tulangan, jarak aktual tulangan, kondisi tulangan serta detail tulangan lainnya seperti pemutusan tulangan, sambungan lewatan baik pada struktur kolom maupun pelat.



Gambar 19.

Pelaksanaan *chipping*, a) Kolom, b) Pelat lantai.

(Sumber: Penulis, 2017)

D.2.7. UJI TARIK BAJA TULANGAN

Pelaksanaan uji tarik tulangan yang terpasang di elemen struktur pasar Johar bertujuan untuk mengetahui propertis mekanik tulangan seperti kuat leleh dan kuat

tarik. Data-data tersebut sangat diperlukan dalam melakukan analisis kekuatan struktur bangunan eksisting sehingga dari analisis tersebut desain perkuatan dan retrofit dapat ditentukan.

Proses pengambilan sampel tulangan dilakukan setelah pekerjaan chipping selesai dilakukan, sehingga jenis tulangan yang diekstrak dari elemen-elemen struktur dapat mewakili seluruh jenis tulangan yang terpasang di bangunan pasar Johar seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Sampel tulangan yang diekstrak dari struktur kolom dan pelat. Namun dengan memperhatikan bahwa sampel-sampel tulangan banyak terdapat mortar dan juga produk korosi yang melekat pada permukaan tulangan maka persiapan perlu dilakukan sebelum pelaksanaan uji tarik. Pekerjaan persiapan meliputi pembersihan hingga pengukuran diameter tulangan.



Gambar 20.
Sampel tulangan untuk uji tarik
(Sumber: Penulis, 2017)

D.2.8. UJI KANDUNGAN KLORIDA

Pengujian kandungan klorida bertujuan untuk mengetahui penetrasi ion klorida pada elemen struktur khususnya pada struktur kolom. Keberadaan ion klorida di dalam material beton bertulang berdampak negatif terhadap durabilitas tulangan baja di dalam beton. Ion klorida mampu merusak lapisan *passive layer* dipermukaan tulangan yang berfungsi melindungi tulangan dari korosi (Elfström, 1980; Ahmad, 2006; Rosas et.al, 2014).

Tendensi keberadaan ion klorida pada material beton di bangunan pasar Johar

dimungkinkan oleh adanya kerawanan dan fenomena banjir rob di kota Semarang (<https://disaster.geo.ugm.ac.id>, <https://www.merdeka.com>, <https://regional.kompas.com>).

Seperti yang diketahui bahwa banjir rob merupakan fenomena banjir yang diakibatkan oleh meluapnya air laut hingga menggenangi daratan. Air laut memiliki kandungan klorida yang tinggi baik dalam bentuk garam atau pun ion bebas. Sehingga pada saat banjir terjadi, air yang mengandung klorida akan mengkontaminasi struktur bangunan.

Terdapat 3 mekanisme masuknya klorida kedalam beton diantaranya serapan, permeabilitas dan difusi. Dengan mempertimbangkan bahwa sumber klorida berasal dari banjir rob (air laut) maka mekanisme yang sesuai adalah serapan dan permeabilitas.

Pengukuran kadar ion klorida pada material beton diawali dengan pengambilan beton inti dengan kedalaman tertentu (umumnya hingga pada kedalaman selimut tulangan). Selanjutnya, proses *grinding* pada setiap kedalaman 3 cm hingga 6 cm dilakukan untuk mendapatkan bubuk beton. Yang kemudian akan diuji dengan proses kimiawi.



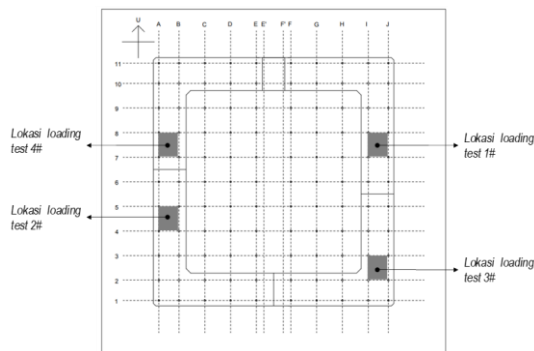
Gambar 21.
Sampel serbuk beton untuk uji ion klorida.
(Sumber: Penulis, 2017)

D.2.9. UJI PEMBEBANAN STRUKTUR (LOADING TEST)

Uji pembebanan struktur bangunan pasar Johar dilatarbelakangi oleh adanya variasi yang ditemukan baik pada mutu beton, konfigurasi tulangan serta jenis dan tingkat kerusakan yang dialami baik struktur kolom maupun struktur pelat. Pengujian pembebanan (*loading test*) bertujuan untuk mengetahui

performa struktur eksisting dalam memikul beban gravitasi rencana diantaranya beban mati tambahan (SIDL) dan beban hidup (LL).

Pelaksanaan uji pembebanan (*loading test*) dilakukan berdasarkan SNI 2847 - 2013, pasal 20.3. Di dalam pasal tersebut dijelaskan bahwa jumlah dan penempatan bentang atau panel yang dibebani harus dipilih untuk memaksimalkan lendutan dan tegangan pada daerah kritis elemen struktur dimana kekuatannya diragukan. Berdasarkan kondisi dilapangan maka dipilih 4 lokasi pengujian *loading test* di pelat lantai 1 di Johar.



Gambar 22.

Posisi *loading test* pelat mezanin
(Sumber: Sandi Darma, 2017)



Gambar 23.

Loading test pelat mezanin
(Sumber: Sandi Darma, 2017)

Total beban yang diaplikasikan dalam pelaksanaan uji pembebanan (*loading test*) ini disesuaikan dengan beban desain berdasarkan peraturan yang berlaku pada saat penyelidikan dilakukan, dalam hal ini adalah SNI 1727-2013. Dengan mempertimbangkan bahwa pelat lantai 1 pasar Johar difungsikan sebagai Toko maka bebar beban minimum merata sebesar 3.59 kN/m^2 atau setara dengan 366 kg/m^2 .

Selanjutnya jumlah beban total yang harus diterapkan mengikuti persyaratan yang tertera didalam Pasal 20.3.2 SNI 03-2847-2013 dimana beban uji total diambil yang terbesar didapatkan besaran beban uji total yakni sebesar 500 kg/m^2 dengan prosedur pembebanan diantaranya:

- Beban uji harus diterapkan tidak boleh kurang dari empat tahap penambahan beban yang kira-kira sama.
- Kumpulan data pengukuran harus dilakukan setelah setiap penambahan beban diterapkan dan setelah beban total telah diterapkan pada struktur untuk selama paling sedikit 24 jam.
- Kumpulan data pengukuran respon akhir harus dilakukan 24 jam setelah beban uji dihilangkan.

D.2.9. GROUND PENETRATING RADAR (GEORADAR)

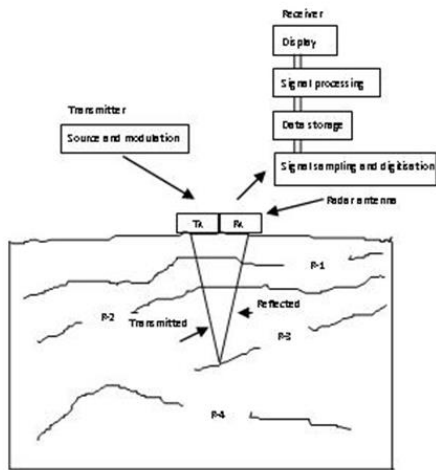
Penyelidikan bangunan cagar budaya tidak hanya menerapkan instrument dan sensor yang umum digunakan di dunia teknik sipil namun juga bidang keilmuan lainnya. Salah satu metoda yang digunakan mengadopsi instrumen umum digunakan di bidang geofisika yakni *ground penetrating radar* atau lebih dikenal dengan istilah georadar.

Reynolds, 1997 menyebutkan bahwa metoda georadar adalah salah satu metoda geofisika yang mempelajari kondisi di bawah permukaan tanah berdasarkan sifat keelektromagnetan batuan dengan menggunakan gelombang radio/audio dengan rentang frekuensi antara 1 – 1000 MHz seperti yang ditunjukkan pada Gambar 19. Selanjutnya dengan menggunakan prinsip *radar reflection profiling* kerapatan dan kerenggangan material solid akan diidentifikasi berdasarkan nilai reflesi yang diterima oleh receiver.

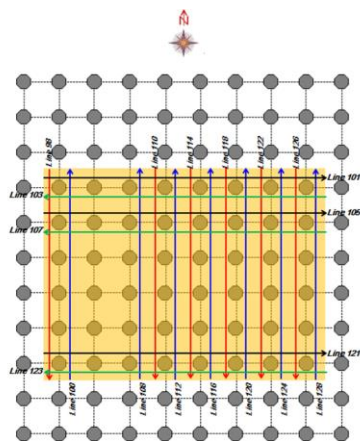
Lebih jauh, data hasil pengukuran *georadar* masih berupa data mentah yang dipengaruhi oleh *noise*. Tujuan dari pengolahan data GPR adalah untuk menghasilkan peta-peta penampang GPR dengan perbandingan sinyal terhadap *noise* (S/N) yang tinggi, sehingga berdasarkan penampang GPR tersebut dapat ditafsirkan keadaan, bentuk serta posisi dari objek (*reflektor*) bawah permukaan sesuai dengan target yang diinginkan.

GPR telah banyak digunakan dalam pelaksanaan investigasi dan monitoring bangunan (Gehrig, et.al, 2004) maupun infrastruktur lainnya seperti jembatan (Maser, et.al, 2012; Goulias and Scott, 2015) dan perkerasan jalan beton (Al-Qadi, and Lahouar, 2005; Evans, 2009)

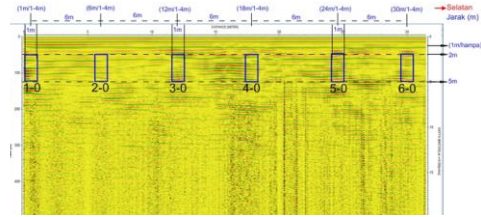
Sehubungan dengan penjelasan tersebut, penggunaan georadar dalam penyelidikan bangunan pasar johar adalah untuk mendapatkan gambaran mengenai struktur bawah (pondasi). Lebih jauh, mengenai bentuk, geometri dan kedalaman sebenarnya akan lebih dipahami melalui pekerjaan ekskavasi (test pit).



Gambar 24.
Diagram sistem radar
(Reynolds, 1997, Sandi Darma, 2017)



Gambar 25.
Line pengukuran georadar pasar Johar.
(Sumber: Sandi Darma, 2017)



Gambar 26.
Tipikal rekaman georadar pada pasar Johar.
(Sumber: Sandi Darma, 2017)

Sebelum pekerjaan georadar dilaksanakan, perlu untuk menetapkan lajur pergerakan georadar yang tentunya di kedua arah (selatan-utara, timur-barat) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 24 agar data rekaman dari satu jalur (selatan-utara) dapat digunakan untuk memverifikasi hasil dari jalur lainnya (timur-barat).

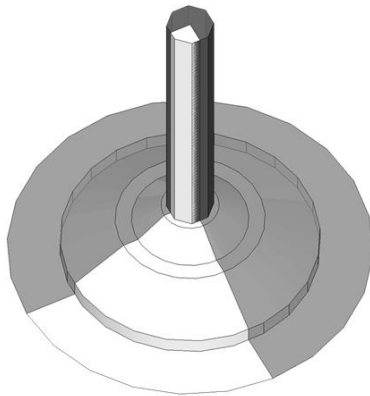
Tipikal rekaman hasil pekerjaan reoradar ditunjukkan pada Gambar 25. Dari banyak rekaman georadar dilakukan analisis mengenai kedalaman pondasi eksisting bangunan pasar johar. Rata-rata kedalaman pondasi adalah sebesar 2.07 m dengan standar deviasi sebesar 0.41 m. Hal ini menunjukkan bahwa perkiraan jenis pondasi yang digunakan adalah pondasi telapak (*footing foundation*).

PEKERJAAN EKSKAVASI (TEST PIT)

Untuk lebih memastikan bahwa hasil georadar adalah valid, maka dilakukan proses penggalan pada salah satu fondasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 22. Hal yang perlu diperhatikan adalah ketelitian dan keamanan baik pekerja maupun bangunan itu sendiri



Gambar 27.
Proses ekskavasi pencarian pondasi.
(Sumber: Sandi Darma, 2017)



Gambar 28.
Ilustrasi pondasi bangunan pasar Johar.
(Sumber: Sandi Darma, 2017)

Hasil ekskavasi menunjukkan bahwa bentuk dan geometri pondasi adalah pondasi telapak (*footing*) dan di bawah telapak fondasi tidak ditemukan adanya struktur tambahan. Hal ini tentu saja sesuai dengan sistem fondasi yang dikembangkan untuk "*mushroom flat slab concept*".

KESIMPULAN

Hasil pengukuran dan perhitungan verticality pada masing-masing kolom menunjukkan ringkasan arah kemiringan tiang serta besar penyimpangan tiang-tiang di masing-masing lantai. Secara umum untuk lantai satu, kemiringan tiang condong ke arah Selatan dan Timur dengan rerata penyimpangan sebesar 1.57 cm dengan maksimum mencapai 8.3 cm, pada satu kolom. Sama seperti di lantai satu, kemiringan tiang untuk lantai dua condong ke arah Selatan dan Timur dengan rerata penyimpangan sebesar 2.27 cm dengan maksimum 11.7 cm, pada satu kolom.

Hasil pengecekan kestabilan pelat lantai menunjukkan pada pasar Johar, nilai bervariasi antara -15 cm hingga 19 cm, sehingga deck pada Pasar Johar Baru Utara bergelombang, dengan lendutan maksimum terjadi pada bagian tengah dan utara, sementara lendutan minimum terjadi pada bagian selatan.

Hasil pengujian dengan *hammer test* menunjukkan sebagian besar selimut beton pada kolom kurang baik, hanya 16% dari keseluruhan kolom yang dinyatakan masih bagus selimut betonnya. Maka pengupasan

selimut beton harus dilakukan di semua kolom.

Hasil *rebar scan* untuk elemen struktur kolom menunjukkan kolom menggunakan tulangan dengan diameter 16 mm sebanyak 8 buah. Selanjutnya, tulangan transversal yang digunakan adalah tulangan polos dengan diameter 8 mm dibentuk secara spiral membentuk jarak antar tulangan sebesar 100 s/d 150 mm. Tebal selimut beton terpasang dapat dikatakan bervariasi antara 30 hingga 50 mm.

Hasil pengujian *sample core drill* menunjukkan hasil uji kuat tekan 43 buah sampel beton inti terlihat ada satu kolom kekuatannya dibawah 5 MPa, 23 kolom dibawah 10 MPa, 15 buah dibawah 15 MPa, hanya 4 kolom di atas 15 MPa. Dari analisa hasil uji dinyatakan seluruh kolom harus ditambahkan perkuatan.

Hasil dari pengupasan selimut beton terlihat ketebalan selimut beton sebesar 30 milimeter. Jumlah tulangan longitudinalnya sebanyak 8 buah dengan diameter 16 milimeter polos dengan jarak tulangan 140 milimeter. Tulangan geser menggunakan tulangan polos berdiameter 8 milimeter dengan jarak antar tulangan 150 milimeter. Temuan ini terlihat pada semua kolom, dengan tulangan yang kurang lebih berjarak sama.

Hasil dari uji Tarik baja tulangan menunjukkan tulangan lama yang tidak korosi masih sesuai standar SNI, perlu di tambah perkuatan untuk tulangan dengan jarak yang lebih dari 10 cm dan dilakukan penggantian dengan tulangan baru untuk tulangan yang telah korosi.

Hasil uji kadar klorida dalam beton kolom menunjukkan 60 % dari 90 sampel bubuk beton kolom tidak terdeteksi kandungan klorida didalamnya, selebihnya kandungan klorida sangat kecil.

Hasil uji pembebanan pada pelat lantai mezanin menunjukkan hasil yang cukup bagus. Dengan beban 500 kg per meter² hasil lendutan maksimal 3.7 mm, masih jauh dibawah standar SNI. Pelat lantai tidak harus dibongkar.

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di berbagai disiplin ilmu berhasil diterapkan dalam melakukan penyelidikan bangunan cagar budaya pasar Johar

Semarang, khususnya setelah bangunan tersebut terbakar. Namun dibutuhkan kehati-hatian, kecermatan, kesabaran dan ketelitian dalam pelaksanaan investigasi. Pengambilan sampel material diharapkan tetap menjaga kelestarian dan tidak melemahkan kondisi bangunan cagar budaya. Hal yang tidak kalah penting adalah mengikuti peraturan yang berlaku di Indonesia.

Kerjasama dunia industri dan pendidikan juga diperlukan khususnya dalam pelaksanaan uji laboratorium. Laboratorium yang independen dan telah terakreditasi menjadi syarat mutlak dalam mengevaluasi sampel uji sehingga hasil yang diperoleh dapat diterima dengan baik oleh semua pihak.

Penentuan kelayakan bangunan untuk difungsikan kembali juga harus didasarkan pada kondisi bangunan, hasil pengujian lapangan dan laboratorium serta teknologi yang berkembang saat ini.

Menyatukan pemikiran dari sebuah pelestarian bangunan cagar budaya harus didukung keterbukaan cara berpikir semua pihak. Keselamatan pengguna menjadi tujuan utama, dengan tidak meninggalkan nilai-nilai penting pelestarian pasar Johar Semarang.

Penulisan jurnal ini diharapkan bermanfaat bagi ilmu pengetahuan, bagi akademisi dan semua pihak yang akan melakukan pekerjaan konservasi bangunan cagar budaya, khususnya bangunan cagar budaya bermaterial beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Z., *Concrete Corrosion, Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control, Chapter 12*, 2006.
- Al-Qadi, I.L., Lahouar, S., *Part 4: Portland Cement Concrete Pavement: Measuring Rebar Cover Depth in Rigid Pavements With Ground Penetrating Radar, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2005.
- Allidred, J. *Improvement to the orthogonal method for determining reinforcing bar diameter using a cover meter. In Proceedings of the Sixth International Conference on Structural Faults and Repair*, London, UK, 3–5 July 1995; pp. 11–15.
- ASTM D2113, *Standard Practice for Rock Core Drilling and Sampling of Rock for Site Exploration*, 2015.
- ASTM D1586, *Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils*, 2011.
- Brencich, A., Bovolenta, R., Ghigi, V., Pera, D., Redaelli, P., *Rebound Hammer Test: An Investigation into Its Reliability in Applications on Concrete Structures, Advances in Material Science and Engineering, Volume 2020*, 2020.
- Bungey, J.H., Millard, S.G., Grantham, M.G., *Testing of Concrete in Structures*, Taylor & Francis, 2006.
- Cikrle, P; Anton, O; Kinclova, A; Kocab, D., *Determining reinforcement coverage using an electromagnetic rebar detector. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 385, 2018.
- Clarke, F. E., *Indicator for Chloride Titrations*. United States Patent Office, 1957.
- Cote, J., O'Neill, H., Van Roosmalen, P.K.M., Jessup, H.I., *The Life and Work of Thomas Karsten*, Publisher Architectura & Natura, 2017.
- Evans, R., *Optimizing Ground Penetrating Radar (GPR) to Assess Pavements*. Loughborough University, Thesis, U.K. 2009.
- Elfström, B.-O., *The Effect of Chloride ions on Passive Layers on Stainless steels, Material Science and Engineering*, Vol. 42, 1980.
- Gasparini, D.A., *Contributions of C. A. P. Turner to Development of Reinforced Concrete Flat Slabs 1905–1909, Journal of Structural Engineering*, Volume 128 Issue 10, (2002).
- Gehrig, M., Morris, D., Bryant J. *Ground Penetrating Radar for Concrete Evaluation Studies, Foundation Performance Association Meeting*, March 2004.
- Goulias, D., Scott, M.L., *Effective Implementation of Ground Penetrating Radar (GPR) for Condition Assessment & Monitoring of Critical Infrastructure Components of Bridges and Highways, State Highway Administration – Research Report, Maryland Department of Transportation*, 2015

- Malhotra V.M., *Testing Hardened Concrete. Non-destructive Methods*, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, USA, 1976.
- Malhotra, V.M., and Carino, N. J., *Handbook on Non Destructive Testing of Concrete*, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2nd edition, 2003.
- Maser, K., Martino, N., Doughty, J., Briken, R., *Understanding and Detecting Bridge Deck Deterioration Using Ground Penetrating Radar, TRB 91st Annual Meeting*, Paper 12-1765, 2012.
- Mazumder, R.K., Ansary, M.A., *Application of Non-Destructive Testing Techniques for Structural Condition Assessment in Bangladesh, Proceeding of 1st International Conference on Advances in Civil Engineering*, Bangladesh, 2012.
- Ong, K.C.G., Nandakumar, N., *Assessment and Interpretation of In-Situ Strength of Concrete, Durability of Building Materials and Components 8*, 1999.
- Patil, H., Khairnar, D., Thube, R., *Comparative Study of Effect of Curing on Compressive Strength of Concrete by Using NDT & DT, JSSART*, Volume 1 (6), 2015
- Reynolds, J.M., *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. Wiley, 1997.
- Rosas, O., Maya-Visuet, E., Castenada, H., *Effect of chloride ions on the electrochemical performance of LDX 2003 alloy in concrete and simulated concrete-pore solutions, Journal of Applied Electrochemistry*, Vol. 44, 2014.
- SNI 03-2492-2002, *Metode Pengambilan dan Pengujian Beton Inti*, Badan Standarisasi Nasional, 2002.
- SNI 03-3403-1994, *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton Inti Pemboran*, Badan Standarisasi Nasional, 1994.
- Utsi, V. Utsi, E. *Measurement of reinforcement bar depths and diameters in concrete*. In *Proceedings of the Tenth International Conference on Grounds Penetrating Radar*, Delft, The Netherlands, 21–24 June 2004; pp. 659–662.
-