



PENANGANAN BANGUNAN CAGAR BUDAYA

Arief Sabaruddin

Angga Arief Gumilang S

Penanganan
BANGUNAN CAGAR BUDAYA

ARIEF SABARUDDIN
ANGGA ARIEF GUMILANG S

Ketentuan Pidana

Pasal 113 Undang-Undang No. 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta

1. Setiap orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000,00 (seratus juta rupiah).
2. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan atau huruf h, untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. 4. Setiap orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat milyar rupiah).

PENANGANAN BANGUNAN CAGAR BUDAYA

TIM PENYUSUN

Pengarah

Pantja Dharma Oetojo

Penulis

Arief Sabaruddin

Angga Arief Gumilang S

Editor

Taufan Madiasworo

Wayan Yoke

Design & Layout

Angga Arief Gumilang S

Amalia Muflihat



Hak cipta dilindungi oleh undang-undang.
Dilarang mengutip atau memperbanyak
sebagian atau seluruh izin buku tanpa izin
tertulis.

190 hlm.; 18 x 25 cm

ISBN : 978-979-8230-81-3

Diterbitkan oleh:



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM
DAN PERUMAHAN RAKYAT**

Dikeluarkan oleh:
Biro Komunikasi Publik

Jalan Pattimura No. 20, Kebayoran Baru,
Jakarta Selatan 12110

Prakata

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas nikmat ilmu dan iman, yang atas bimbingan-Nya, pada akhirnya buku ini dapat diterbitkan. Buku ini merupakan uraian yang disusun berdasarkan pengalaman langsung penulis dalam menangani bangunan cagar budaya pada gedung AA Maramis I, sebagai salah satu bangunan cagar budaya tertua yang dimiliki oleh Kementerian Keuangan Republik Indonesia. Bangunan Cagar Budaya ini berlokasi di Kota Jakarta Pusat, berhadapan langsung dengan Lapangan Banteng. Dalam proses penanganan kajian atas kinerja bangunan cagar budaya tersebut, penulis bersama tim dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman dan Tim dari Pusat Dokumentasi Arsitektur, telah melakukan kajian dengan mengacu pada beberapa referensi untuk memperkuat metodologi penanganan bangunan cagar budaya.

Namun setelah berjalannya waktu sejak dilakukan kajian kinerja bangunan tersebut -yakni pada tahun 2012- hingga terbitnya Undang-Undang No. 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja serta Peraturan Pemerintah No. 16 Tahun 2021 tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang No. 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung, yang mengamanatkan perlunya pengaturan dalam penanganan bangunan cagar budaya, hingga terbit peraturan teknis yakni Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 19/PRT/M/2021 tentang Pedoman Teknis Penyelenggaraan Bangunan Gedung Cagar Budaya yang dilestarikan. Hal ini juga untuk melengkapi Undang-Undang Cagar Budaya No. 11 Tahun 2010. Dalam rangka melengkapi beberapa regulasi di atas, maka pengalaman dalam penanganan bangunan cagar budaya AA Maramis merupakan ilmu pengetahuan yang berharga sehingga perlu dituangkan dalam buku, yang kelak dapat digunakan sebagai referensi dalam menangani bangunan cagar budaya lainnya.

Bangunan cagar budaya menempati kedudukan tersendiri dalam keberadaannya di tengah pembangunan perkotaan, mengingat bangunan tersebut menjadi bagian refleksi dan pengetahuan bagi kita semua. Hal ini dikarenakan bangunan cagar budaya memuat kenangan akan berbagai peristiwa yang pernah terjadi pada bangsa ini. Bangunan cagar budaya tidak hanya diartikan sebagai bangunan-bangunan yang merupakan peninggalan kolonial Hindia Belanda semata, akan tetapi bangunan-bangunan yang dinyatakan sebagai bangunan tradisional yang selama ini kita kenal juga merupakan bangunan cagar budaya yang juga harus kita lestarikan. Pertanyaan kita semua adalah bagaimana cara melestarikan bangunan-bangunan cagar budaya tersebut, mengingat bangunan cagar budaya telah

banyak mengalami fatik karena dimakan usia. Dengan menyandang status sebagai bangunan cagar budaya, maka dalam kegiatan penanganan, peningkatan atau pemulihan kinerja bangunan cagar budaya, diperlukan pengetahuan tersendiri agar nilai-nilai yang dikandung dalam bangunan cagar budaya tidak mengalami penurunan nilai bangunan sebagai bangunan cagar budaya, sehingga bangunan tersebut dapat dipertahankan dengan kejujuran atas nilai-nilai yang dikandungnya dan masyarakat dapat mengetahui elemen-elemen bangunan mana yang asli dan mana yang sifatnya adalah tambahan.

Buku ini disusun tidak terlepas dari dukungan rekan-rekan di eks. Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, serta teman-teman di Biro Umum Kementerian Keuangan, sinergitas antar lembaga telah dapat menyelesaikan kajian kelayakan dan metoda penanganan bangunan cagar budaya AA Maramis, yang menjadi sumber ilmu dari buku yang saat ini sedang kita baca. Syukur alhamdulillah pada akhirnya, pelaksanaan pemugaran bangunan tersebut telah dilaksanakan pada tahun 2021 dan telah rampung pada tahun 2022. Tentunya pengalaman panjang dalam proses kajian penanganan bangunan cagar budaya AA Maramis ini, sangat disayangkan bila *knowledge*-nya menguap begitu saja. Dibalik kekayaan akan nilai-nilai arsitektur yang belum dituangkan dalam sebuah catatan, seperti dalam buku ini, diharapkan dapat dijadikan sebagai bahan pembelajaran dalam menangani bangunan-bangunan cagar budaya lainnya yang cukup berlimpah tersebar di beberapa wilayah Indonesia.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih atas dukungan, dorongan dan doa dari istri tercinta Sri Anggani Arief dan anak-anak, serta kedua orang tua Moch. Isja Arief dan Etty Suhaeti, yang telah membekali penulis dengan pemahaman akan makna kehidupan dan pentingnya mengukir kehidupan dengan pena, serta doa-doa yang tiada akhir hingga akhir hayatnya.

Seperti kata pepatah *“tiada gading yang tak retak”* demikian juga dengan buku ini, jauh dari sempurna, untuk itu kritik dan saran konstruktif dari pembaca sangat penulis harapkan dalam rangka memperbaiki buku ini pada edisi-edisi berikutnya, juga dalam buku-buku lainnya yang sedang disusun penulis. Semoga buku ini dapat memperkaya khasanah ilmu dan tegaknya ilmu sebagai landasan dalam membangun bangsa dan negeri.

Jakarta 15 April 2023

Arief Sabaruddin

Prakata Penulis ke-2

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas nikmat iman dan ilmu, yang atas bimbingan-Nya, penyusunan buku ini dapat diselesaikan. Buku ini merupakan uraian yang disusun berdasarkan pengalaman langsung penulis utama dalam pelaksanaan tugas penanganan bangunan cagar budaya pada gedung AA Maramis I, bersama tim dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman dan tim dari Pusat Dokumentasi Arsitektur.

Penyusunan buku ini diinisiasi oleh penulis utama (almarhum), untuk meneruskan estafet pengetahuan dan pemahaman penanganan gedung cagar budaya (khususnya dari pengalaman penanganan gedung AA Maramis I), agar ilmunya dapat terus disebarkan secara luas serta dikembangkan, dan insyaAllah menjadi salah satu amal jariyah almarhum dalam bentuk ilmu yang bermanfaat. Aamiin Yaa Rabbal Alamin.

Dengan rasa hormat dan tanggung jawab yang mendalam, sebagai penulis ke-2, disini saya berperan dalam memenuhi amanah penulis utama untuk melengkapi naskah buku ini dalam aspek keandalan struktur bangunan, sebelum beliau wafat pada Desember 2023 yang lalu. Tentunya jika pembahasan khusus aspek struktur secara detail dimuat dalam buku ini juga, akan membuat lingkup pembahasan menjadi terlalu luas sehingga tidak fokus. Untuk itu, dalam buku ini penulis ke-2 membatasi isi materi hanya untuk memperkenalkan konsep dasar dalam kajian atau asesmen struktur bangunan eksisting khususnya bangunan cagar budaya, yang bertujuan memberikan pengenalan dan wawasan bagi para pembaca mengenai prinsip dasar metodologi dalam survei, pengambilan data yang diperlukan, hingga tahap analisis struktur bangunan eksisting khususnya bangunan cagar budaya. Semoga pada kesempatan berikutnya, penulis ke-2 dapat melanjutkan perjuangan penulis utama, dalam bentuk menyusun buku edisi lanjutan yang akan membahas ulasan aspek keandalan struktur bangunan secara lebih mendalam.

Saya berharap buku ini menjadi salah satu upaya bakti dan penghormatan saya kepada penulis utama (ayahanda tercinta), yang telah membesarkan saya bersama ibu saya dengan sangat baik dan penuh kasih sayang. Amanah beliau dalam menyelesaikan buku ini, juga mengajarkan saya semangat untuk terus belajar, berkarya, dan menyebarkan ilmu, dengan landasan iman dan keikhlasan, semata-mata untuk menggapai ridha Allah SWT. Sekali lagi saya berharap, ini menjadi salah satu bentuk amal jariyah penulis utama, yang akan menuntun almarhum kepada ridha-Nya. Aamiin Yaa Rabbal Alamin.

Selain itu, pada kesempatan ini juga saya mengucapkan terimakasih kepada para kolega tim dari Balai Bahan dan Struktur Bangunan Gedung, atas pengalaman dan ilmu terkait keandalan struktur bangunan yang saya peroleh selama melaksanakan tugas melalui berbagai sesi mentoring dan diskusi teknis yang sangat membangun. Dalam menjalankan tugas di sini, saya diberikan kesempatan untuk terus meningkatkan kompetensi dalam ilmu asesmen struktur bangunan eksisting, termasuk di dalamnya bangunan gedung cagar budaya.

Penyusunan buku ini tentunya jauh dari sempurna, untuk itu kritik dan saran konstruktif dari pembaca sangat penulis harapkan dalam rangka memperbaiki buku ini. Akhir kata semoga buku ini dapat bermanfaat bagi pembaca yang ingin memahami lebih dalam mengenai Penanganan Bangunan Cagar Budaya

Bandung, 2 Oktober 2024

Angga Arief Gumilang S

Daftar Isi

Prakata	v
Prakata Penulis ke-2	vii
Daftar Isi	ix
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xvi
BAB I. Pengantar	1
Pendahuluan	1
Penetapan Status Bangunan Cagar Budaya	7
Kepemilikan Bangunan Cagar Budaya	9
Pemeringkatan Bangunan Cagar Budaya	10
BAB II. Pengupasan Bangunan	11
Persiapan	12
Penyusunan rencana teknis pengupasan	14
Penyusunan Rencana Pelaksanaan teknis pengupasan	15
BAB III. Pemeriksaan Bangunan	25
Tahapan Pemeriksaan Bangunan	25
Patologi Bangunan	27
Pelaksanaan Pemeriksaan	64
BAB IV. Materi Pelaporan Hasil (Contoh kasus : Pemeriksaan Gedung AA Maramis)	73
Gambaran situasi bangunan	73
<i>Scanning</i> Geometrik Eksterior Bangunan	78
<i>Scanning</i> Interior Bangunan	86
BAB V. Konsep Metode Praktis Perbaikan dan Perkuatan (Contoh kasus : Pemeriksaan Gedung AA Maramis)	101
Ketentuan Umum	101
Indikator Penggantian Bahan Bangunan	101

Ketentuan Bahan Bangunan	102
Perbaikan dan Perkuatan Pondasi	106
Perbaikan dan Perkuatan Dinding dan Plesteran.....	109
Perbaikan Dan Perkuatan Kusen Pintu Dan Jendela	121
Perbaikan Dan Perkuatan Balok.....	126
Perbaikan Dan Perkuatan Papan Penutup Lantai.....	135
Perbaikan Dan Perkuatan Plafon.....	139
Perbaikan Mekanikal Dan Elektrikal.....	141
BAB VI. Teknik Pemeriksaan Aspek Struktur Bangunan Cagar Budaya	
dengan Sistem Struktur <i>Masonry</i>	144
Pengamatan Visual.....	146
<i>Demand</i> Keandalan Struktur.....	148
Tantangan dalam Analisis Struktur Bangunan Cagar Budaya.....	150
Contoh Pengujian Lapangan untuk Survei dan Investigasi	
Properti Material dan Parameter Struktur Penting Lainnya	157
Metodologi Evaluasi Bangunan Eksisting Berdasarkan ASCE 41-17.....	165
Contoh Kasus 1 : Praktek Asesmen Bangunan Gedung AA Maramis	
berdasarkan ASCE 41-17	168
Contoh Kasus 2 : Analisis Model Struktur Bangunan Bersejarah dengan	
Kombinasi Struktur <i>Masonry</i> dan Dinding Kayu	172
Refleksi Materi	183
Daftar Pustaka	184

Daftar Gambar

Gambar 1.	Gedung Cagar Budaya AA Maramis Sebelum dan Sesudah Pemugaran	4
Gambar 2.	Foto kiri Alat kerja dan foto kanan Alat Bantu	17
Gambar 3.	Tahapan penelitian bangunan gedung	25
Gambar 4.	Tahapan scanning geometri bangunan	26
Gambar 5.	Bangunan mengalami penurunan secara keseluruhan bangunan	28
Gambar 6.	Form pengukuran kemiringan bangunan	29
Gambar 7.	Pendataan penurunan bangunan pada dua sisi bangunan	30
Gambar 8.	Retak pada bagian tengah bangunan	30
Gambar 9.	Pendataan pergerakan tanah	31
Gambar 10.	Retak pada bangunan akibat dari peregerakan tanah	31
Gambar 11.	Pola kerusakan dengan penurunan sebagian bangunan.....	32
Gambar 12.	Gejala akibat penurunan tanah (land-subsidence) pada bangunan	33
Gambar 13.	Kerusakan pada struktur pendukung mengakibatkan pergerakan antara struktur utama dan pendukung tidak bersamaan	33
Gambar 14.	Penurunan bangunan salah satu sudut bangunan	34
Gambar 15.	Penurunan sebagian bangunan bawah.....	35
Gambar 16.	Pola retak Horizontal dan Vertikal pada bangunan	35
Gambar 17.	Penurunan sebagian bangunan pada bagian bangunan atas	36
Gambar 18.	Penurunan sebagian bangunan tengah	36
Gambar 19.	Penurunan sebagian atas bangunan.....	37
Gambar 20.	Tipe kerusakan pada kolom	38
Gambar 21.	Retakan pada kolom dan dinding	38
Gambar 22.	Penurunan bangunan secara bersamaan	39
Gambar 23.	Penurunan pada beberapa bagian.....	40
Gambar 24.	Letak posisi pengukuran kesikuan bangunan	40
Gambar 25.	Pengukuran kesikuan bangunan pada bagian luar dan dalam	41
Gambar 26.	Rotasi bangunan terjadi secara keseluruhan bangunan	42
Gambar 27.	Perputaran sebagian massa bangunan.....	43
Gambar 28.	Contoh bangunan yang mengalami perubahan bentuk	43
Gambar 29.	Penempatan damp proving untuk pada bangunan system masonry	49
Gambar 30.	Penempatan termite proving.....	50
Gambar 31.	Pola kerusakan fisik balok tarik.....	53
Gambar 32.	Pola kerusakan fisik balok tarik.....	53
Gambar 33.	Pola kerusakan balok makelar	54
Gambar 34.	Contoh lantai ruang bangunan yang mengalami kerusakan.....	56
Gambar 35.	Peta Situasi Jakarta Tempo Dulu, dimana Gedunag AA Maramis I Berdiri	73

Gambar 36. Bangunan AA Maramis pada tahun 1880 dan posisinya	74
Gambar 37. Gambar Situasi Gedung AA Maramis.....	75
Gambar 38. Gambar penentuan titik koordinat Bangunan	77
Gambar 39. Gambar Potongan Metoda Perkuatan Sementara Bangunan Sayap Selatan .	87
Gambar 40. Tampak depan Rangka Perkuatan Sementara Bangunan Sayap Selatan	88
Gambar 41. Kegiatan perkuatan sementara pada Bangunan Sayap Selatan.....	89
Gambar 42. Gambar denah Lantai Tiga setelah dilakukan pengupasan	93
Gambar 43. Gambar denah Lantai Dua, setelah dilakukan pengupasan.....	94
Gambar 44. Dinding As 3, hasil pengamatan visual	96
Gambar 45. Denah Plafon R.12	98
Gambar 46. Bahan Bangunan kayu olahan (LVL) sebagai alternatif pengganti kayu solid.....	104
Gambar 47. Jendela yang masih asli dan jendela yang sudah mengalami perubahan	105
Gambar 48. Contoh bahan atap yang ringan dan masih harmonis dipadukan dengan bangunan AA Maramis	105
Gambar 49. Metoda Perbaikan tanah dan air tanah, untuk perkuatan pondasi	107
Gambar 50. Perbaikan drainase sekeliling bangunan	108
Gambar 51. Metoda Polder dengan penanganan landskape yang diturunkan, dilengkapi dengan pengaturan sistem drainase	109
Gambar 52. Bidang yang akan direkam, sebelum dilakukan pengupasan	110
Gambar 53. Pembuatan pola ornamen pada dinding luar bangunan.....	110
Gambar 54. Tahapan perbaikan dinding plesteran, dilakukan secara bertahap pada sisi berseberangan, dengan tujuan untuk tidak mengubah titik berat bangunan	111
Gambar 55. Setelah pengupasan plesteran dinding dibersihkan dengan sikat kawat.....	112
Gambar 56. Metoda penanganan sementara dinding akibat perlemahan lantai (sebagai diafragma)	112
Gambar 57. Contoh menggambarkan batas kerusakan dinding pasangan bata.....	113
Gambar 58. Palu dan pahat yang digunakan untuk melepaskan elemen bata merah dari dinding pasangan bata (spesinya)	113
Gambar 59. Penanganan tahap awal, balok-balok dipasang pada dua sisi dinding.....	114
Gambar 60. Pemasangan penyangga sementara, dinding pasangan bata.....	114
Gambar 61. Gambar penyangga dinding yang akan dibuka untuk disusun kembali	115
Gambar 62. Bagian dinding yang rusak siap untuk disusun pasangan bata merah baru	115
Gambar 63. Lubang pintu tambahan pada dinding lama, secara struktural lubang tersebut merupakan perlemahan, harus segera ada penanganan	116
Gambar 64. Kerusakan dinding akibat lumut.....	117
Gambar 65. Contoh dinding yang mengalami retak tembus	117
Gambar 66. Penanganan retakan pada dinding pasangan bata.....	118
Gambar 67. Metoda perbaikan kelembapan bangunan dan dinding lantai dasar, akibat dari kapilerisasi air tanah.....	120

Gambar 68.	Kondisi rangka kusen pintu, beberapa bagian sudah hilang keasliannya.....	121
Gambar 69.	Asesoris pada komponen pintu dan jendela	122
Gambar 70.	Gambar dudukan dan cara penyimpanan daun pintu dan daun jendela.....	123
Gambar 71.	Peralatan dan bahan untuk mengupas cat dari permukaan panel kusen pintu/jendela	123
Gambar 72.	Beban segitiga yang bekerja membebani balok lintel kusen pintu atau jendela	124
Gambar 73.	Metoda perkuatan Sementara Lubang Kusen pada Dinding Pasangan Bata.....	125
Gambar 74.	Sistem Sambungan Balok Grider dengan Balok Binder	126
Gambar 75.	Konstruksi tumpuan balok Girder pada dinding pasangan bata merah sisi luar.....	127
Gambar 76.	Pola pembalokan lantai dan jenis pelapukan pada tumpuan, dan eks. ruang kamar mandi	128
Gambar 77.	Dua posisi titik kerusakan pada balok lantai yang harus mendapat perhatian khusus	128
Gambar 78.	Gambar posisi pelapukan pada tumpuan	129
Gambar 79.	Penempatan scaffolding penyangga balok lantai	130
Gambar 80.	Scaffolding, dapat digunakan untuk menahan balok lantai yang mengalami kerusakan.....	130
Gambar 81.	Potong bagian yang mengalami pelapukan pada bagian kayu yang masih baik	131
Gambar 82.	Sistem sambungan yang digunakan pada balok lantai.....	131
Gambar 83.	Balok Girder (utama) mengalami pelapukan disertai dengan papan penutup lantai	132
Gambar 84.	Penambahan sisi tumpuan balok, dengan kayu atau bahan baja	132
Gambar 85.	Perbaikan tumpuan balok lantai pada dinding pasangan bata	133
Gambar 86.	Kerusakan balok pada sisi tumpuan, bidang tumpuan adalah sebesar 40 cm.....	133
Gambar 87.	Lendutan maksimum balok lantai	134
Gambar 88.	Metoda perbaikan permukaan balok	134
Gambar 89.	Metoda perkuatan tambahan balok dengan plat baja.....	135
Gambar 90.	Metoda perkuatan tambahan balok dengan plat baja.....	135
Gambar 91.	Pelapukan papan banyak disebabkan oleh air	136
Gambar 92.	Perbaikan pembalokan setelah lantai penutup papan dibuka	137
Gambar 93.	Kondisi papan yang sudah terlepas dari tempatnya, siap untuk diperbaiki	138
Gambar 94.	Mata bor (core drill) untu membuka papan dari ikatan paku	138
Gambar 95.	Lubang pada papan lantai yang haru diperbaiki	139
Gambar 96.	Kondisi penutup plafon setelah proses pengupasan.....	140
Gambar 97.	Tempatkan toilet di luar bangunan utama	142

Gambar 98. Permukaan tanah diturunkan agar lantai dasar bangunan berada di atas muka tanah, untuk itu perlu perbaikan tata kelola drainase	143
Gambar 99. Alur berpikir kegiatan asesmen keandalan struktur bangunan eksisting.....	146
Gambar 100. Contoh pelaksanaan pemeriksaan visual pada bangunan cagar budaya Gedung Jusuf Anwar, Kementerian Keuangan	147
Gambar 101. Contoh alat ukur untuk survei geometri dan konfigurasi struktur	147
Gambar 102. Kamera digital dan GPS, serta smartphone sebagai alat bantu dalam pemeriksaan visual	148
Gambar 103. Contoh peta percepatan spektrum respons 0.2 detik untuk gempa periode ulang 975 tahun	149
Gambar 104. Contoh peta percepatan spektrum respons 1 detik untuk gempa periode ulang 975 tahun	149
Gambar 105. Contoh bangunan tua di Eropa dengan sistem masonry, yang berkembang di Indonesia selama masa kolonialisasi (sumber : EESD Research Group, EPFL)	151
Gambar 106. Contoh tipologi komponen dinding ringan tabique wall (sumber : Jose Padrao, Joao Guedes & Antonio Arede).....	151
Gambar 107. Contoh teknik pemodelan makro dengan pendetakan equivalent beam dan elemen spring/pegas (sumber : Dáltri, Sarhosis, Milani, dkk).....	154
Gambar 108. Contoh model struktur makro vs mikro (sumber L Doran, Karslioglu, Aslan, dan Vatansever)	155
Gambar 109. Contoh dimana teknik pemodelan mikro yang memungkinkan pemodelan penggunaan material bata yang berbeda (sumber : Moradi, N., Yazdani, M., Janbozorgi, F. et al)	155
Gambar 110. Contoh teknik pemodelan mikro yang bisa memodelkan mekanisme toothting pada hubungan antar dinding (sumber : Chacara, Mendes, dan Lourenco).....	156
Gambar 111. Scanning bangunan Santa Maria da Vitoria of Batalha di Portugal menggunakan dua sistem TLS yang berbeda (sumber : Luisa, Florindo, dan Hugo)	158
Gambar 112. Contoh penggunaan teknologi infrared thermography pada pemeriksaan Santa Maria da Vitoria Monastery, Batalha (sumber : Flavio, Florindo, dan Hugo)	160
Gambar 113. Metode pengukuran cepat rambat gelombang ultrasound	161
Gambar 114. Pengukuran kedalaman retak dengan gelombang ultrasound	161
Gambar 115. Contoh pelaksanaan pengujian ultrasound pada bangunan heritage	161
Gambar 116. Contoh pengujian laboratorium untuk mengetahui properti material dan mekanis struktur pasangan bata	162
Gambar 117. Setup uji geser bata in situ Gedung AA Maramis (sumber : BBSBG, Dit. BTPP, DJCK Kem PUPR).....	164
Gambar 118. Grafik hubungan beban (P) dan perpindahan (delta) (sumber : BBSBG, Dit. BTPP, DJCK Kem PUPR).....	164

Gambar 119. Dokumentasi pengujian geser in situ Gedung AA Maramis (sumber : Dit BTPP)	165
Gambar 120. Dokumentasi pengujian in situ Gedung AA Maramis oleh tim Direktorat BTPP	165
Gambar 121. Alur pelaksanaan evaluasi Tier 1	167
Gambar 122. Tampak muka gedung AA Maramis	168
Gambar 123. (a) Denah Gedung A (b) Denah Gedung C (c) Potongan penampang dinding sumber : Wijanto, Andriono, Setiawan, dan Tanudjaja	168
Gambar 124. (a) Uji tekan dua lapis pasangan bata (b) Uji tekan tiga lapis pasangan bata (c) Uji prismatik tujuh lapis (d) Uji geser lekatan sumber : Wijanto, Andriono, Setiawan, dan Tanudjaja; tim Direktorat Bina Teknik Permukiman dan Perumahan	169
Gambar 125. Model numerik struktur menggunakan SAP2000 sumber : Wijanto, Andriono, Setiawan, dan Tanudjaja	170
Gambar 126. Spektrum respons kota Jakarta sumber : Wijanto, Andriono, Setiawan, dan Tanudjaja	171
Gambar 127. Kontur tegangan von mises yang terjadi pada komponen dinding akibat envelope kombinasi beban gravitasi dan gemp (sumber : Wijanto, Andriono, Setiawan, dan Tanudjaja)	172
Gambar 128. Lokasi dan tampak eksterior bangunan studi kasus ke-2 (sumber : Silva, Velodu & Santos)	173
Gambar 129. Denah layout dinding dan layout rangka atap (sumber : Silva, Velodu & Santos)	174
Gambar 130. (a) Dokumentasi persiapan benda uji tabique wall (b) Setup pengujian tekan komponen tabique wall (sumber : Silva, Velodu & Santos)	175
Gambar 131. Contoh alternatif survei geometri bangunan eksisting dengan memanfaatkan fotogrametri drone	177
Gambar 132. Model 3D dan numerik struktur bangunan	179
Gambar 133. Hasil analisis ragam getar dan frekuensi natural struktur	180
Gambar 134. Tegangan utama pada dinding masonry	181
Gambar 135. Tegangan utama pada tabique wall	181
Gambar 136. Perpindahan global bangunan akibat beban seismik	182
Gambar 137. Kontur deformasi pada pelat lantai	182

Daftar Tabel

Tabel 1. Rekapitulasi perubahan bentuk bangunan	44
Tabel 2. Contoh perhitungan berat rata-rata elemen bata	45
Tabel 3. Contoh tabulasi hasil uji kuat tekan bata.....	45
Tabel 4. Data ketebalan spesi pasangan dinding.....	47
Tabel 5. Form isian hasil pemeriksaan balok lantai	52
Tabel 6. Form isian hasil pemeriksaan balok lantai	52
Tabel 7. Posisi Bangunan berdasarkan Hasil Pengukuran	78
Tabel 8. Tabulasi hasil pengukuran ketegakan bangunan	83
Tabel 9. Contoh format tabulasi hasil pengamatan Lantai Ruang R.12.....	95
Tabel 10.Rekapitulas Perbaikan dan Perkuatan Lantai R.12.....	95
Tabel 11.Rekapitulasi pekerjaan Perbaikan dan Perkuatan Dinding As.3.....	97
Tabel 12.Rekapitulasi Pekerjaan perbaikan Kusen Pintu As.3	97
Tabel 13.Rekapitulasi Perbaikan dan Perkuatan Plafon Ruang R.12	99
Tabel 14.Target kinerja untuk bangunan eksisting (sumber : ASCE 41-17)	166
Tabel 15.Tingkat seismisitas (sumber : ASCE 41-17)	166
Tabel 16.Property material pasangan bata (masonry)	170
Tabel 17.Karakteristik elemen struktur bangunan studi kasus ke-2 (sumber: Silva, Velodu & Santos).....	174
Tabel 18.Rekap hasil uji tabique wall (sumber : Silva, Velodu & Santos)	176
Tabel 19.Rekap hasil uji dinding masonry (sumber : Pinheiro)	176
Tabel 20.Properti mekanis material yang diinputkan pada model numerik struktur	177
Tabel 21.Rekap hasil modal analysis struktur	180

BAB I. Pengantar

Pendahuluan

Bangunan cagar budaya merupakan objek warisan budaya dalam bentuk bangunan gedung yang telah ditetapkan sebagai benda cagar budaya yang harus dilestarikan karena memiliki nilai-nilai penting bagi masyarakat dan merupakan bagian dari sejarah perkotaan atau perdesaan di mana bangunan tersebut berada. Bangunan cagar budaya juga merupakan sumber ilmu pengetahuan tidak tertulis untuk dipelajari dan diteliti sehingga menjadi ilmu pengetahuan yang tertulis tentang kebudayaan masyarakat pada era tertentu, seperti tentang metoda membangun, tentang sistem konstruksi, tentang bentuk dan gaya arsitektur tertentu, dan tentang bentuk kegiatan pada periode yang pernah ada. Keberadaan bangunan cagar budaya dilindungi oleh Undang-Undang No. 11 Tahun 2010 tentang Cagar Budaya, serta Undang-Undang Bangunan Gedung No. 28 Tahun 2002, yang mengamanatkan bahwa bangunan cagar budaya perlu dilestarikan dengan terlebih dahulu ditetapkan sebagai bangunan cagar budaya dan ditangani dengan kaidah-kaidah teknis yang benar agar tidak merusak nilai-nilai yang dikandung oleh bangunan cagar budaya tersebut.

Mengacu pada Peraturan Menteri PUPR, definisi dari bangunan cagar budaya adalah susunan binaan yang terbuat dari benda alam atau benda buatan manusia untuk memenuhi kebutuhan ruang berdingding dan atau tidak berdingding, dan atap. Bangunan cagar budaya merupakan produk rancang bangun dari buatan manusia yang produknya digunakan atau difungsikan sebagai ruang dan tempat yang mewadahi kegiatan manusia di dalam bangunan tersebut. Buku ini, membatasi ulasannya sebatas bangunan cagar budaya, mengingat selain bangunan cagar budaya, juga terdapat benda cagar budaya, situs cagar budaya, dan kawasan cagar budaya. Meskipun ulasan pada bagian-bagian selanjutnya lebih banyak mengupas terkait dengan bangunan cagar budaya, namun juga beberapa cagar budaya lainnya akan sedikit dikupas dalam rangka melengkapi informasi, agar informasi pengetahuan tentang bangunan cagar budaya dapat dipahami oleh pembaca terkait dengan posisioningnya dalam pengetahuan cagar budaya pada skala yang lebih luas, dan tentunya kita bila tahu perbedaan dan kesamaan diantaranya, dalam hal penanganan.

Bangunan gedung adalah wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat kedudukannya, sebagian atau seluruhnya berada di atas dan atau di dalam tanah yang berfungsi sebagai tempat manusia melakukan kegiatan. Kegiatan manusia di dalam bangunan dapat berupa kegiatan hunian sebagai tempat tinggal sebuah keluarga, kegiatan

keagamaan sebagai bangunan ibadah, seperti masjid, gereja, kuil, vihara atau situs-situs tempat pemujaan manusia tempo dulu yang banyak digunakan sebagai bangunan tempat peribadatan. Bentuk kegiatan lainnya seperti kegiatan untuk perniagaan, kegiatan sosial, budaya maupun kegiatan lainnya yang pada saat ini kegiatan tersebut sudah tidak dilakukan oleh masyarakat, namun pada periode tertentu kegiatan tersebut sering dilakukan oleh para leluhur kita pada masa itu.

Indonesia banyak memiliki potensi bangunan-bangunan yang memiliki nilai historis sehingga perlu ditetapkan menjadi bangunan cagar budaya. Banyak bangunan ibadah seperti masjid yang merupakan bangunan peninggalan dari para wali Allah yang menyebarkan agama Islam di negeri ini. Ambil saja ada masjid yang dibangun oleh Sunan Ampel, atau masjid-masjid lainnya yang dibangun oleh Sembilan Wali (Wali Songo), yang terkait dengan sejarah perkembangan agama Islam di nusantara. Begitu juga dengan bangunan peribadatan lainnya, seperti beberapa gereja yang dibangun pada masa pemerintahan Hindia Belanda dengan bentuk dan gaya arsitektur yang keberadaannya masih dapat dilihat oleh generasi sekarang, meskipun bangunan tersebut sudah berusia lebih dari satu abad. Namun keberadaan bangunan-bangunan tua yang masih berdiri kokoh hingga saat ini belum tentu merupakan bangunan cagar budaya, mengingat status bangunan cagar budaya harus melalui proses penetapan terlebih dahulu oleh pemerintah daerah kota atau kabupaten berdasarkan rekomendasi tim ahli cagar budaya.

Tujuan dari penetapan sebuah bangunan menjadi bangunan cagar budaya adalah dalam rangka melakukan perlindungan, pengembangan, dan pemanfaatan bangunan cagar budaya melalui upaya mempertahankan keberadaan dan nilai-nilai yang terkandung bangunan, dengan tetap memperhatikan keandalan bangunan dari aspek keselamatan bangunan, serta aspek kesehatan bangunan, kenyamanan bangunan dan kemudahan bangunan sebagaimana diatur dalam Undang-Undang Bangunan Gedung No. 28 Tahun 2002. Dikarenakan bangunan cagar budaya umumnya telah mengalami fatik ataupun deteriorasi, maka aspek keselamatan bangunan harus mendapat penanganan yang diprioritaskan. Kondisi keandalan bangunan tersebut diukur dengan indikator kemampuan bangunan menahan beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan, seperti beban gempa. Tantangannya bahwa bangunan yang dirancang pada era lebih dari satu abad yang lalu dengan metoda dan perhitungan yang tidak lagi sesuai dengan perkembangan ilmu dan teknologi saat ini, maka pendekatan yang dilakukan adalah mengembalikan kekuatan atau kemampuan struktur pada masa awal pembangunannya. Selain itu perlu diperhatikan juga amanah dalam PP Nomor 16 Tahun 2021, bahwa bangunan gedung lama harus dilakukan asesmen untuk memastikan keandalannya. Melalui kegiatan asesmen tersebut, maka tingkat kinerja struktur bangunan eksisting dapat diukur serta kebutuhan *retrofitting* dapat direncanakan. Selain itu juga dapat dilakukan penyesuaian kembali fungsi bangunan agar beban-beban hidup yang bekerja dalam bangunan dapat dikendalikan.

Tindakan yang dilakukan pada bangunan cagar budaya setelah ditetapkan statusnya sebagai bangunan cagar budaya adalah melakukan upaya-upaya untuk melestarikannya, yaitu adalah dengan cara melakukan pemugaran, pemeliharaan serta perawatan bangunan cagar budaya. Dalam proses penyelenggaraan tersebut bangunan cagar budaya perlu dilakukan pemeriksaan berkala terkait dengan keandalan bangunan secara menyeluruh atau sebagian terhadap komponen bangunan, bahan bangunan, serta sarana, prasarana bangunan dalam waktu tertentu untuk memastikan bahwa bangunan tersebut masih laik fungsi.

Pemugaran bangunan cagar budaya adalah upaya yang dilakukan pada bangunan untuk mengembalikan pada kondisi awal perencanaan. Pemugaran dilakukan secara menyeluruh atau sebagian pada bagian-bagian yang mengalami kerusakan. Bila terjadi kerusakan bahan bangunan maka diupayakan terlebih dahulu menggunakan bahan bangunan asli yang dilakukan perbaikan terlebih dahulu pada bangunan tersebut. Hal ini dilakukan dengan setidaknya mengganti bahan bangunan yang rusak sesuai dengan keaslian bahan, bentuk, tata letak termasuk teknis pengerjaan bahan bangunan tersebut, sehingga usia bangunan cagar budaya dapat diperpanjang.

Dalam konteks bangunan cagar budaya yang sebagian atau keseluruhan bangunan mengalami kerusakan serius yang tidak memungkinkan untuk dilakukan perbaikan, maka tindakan yang dapat dilakukan adalah rekonstruksi. Tindakan rekonstruksi merupakan upaya pengembalian kondisi fisik melalui pemugaran dengan membangun kembali sebagian atau keseluruhan bangunan yang hilang dengan menggunakan konstruksi baru agar menjadi seperti wujud sebelumnya. Rekonstruksi mengacu pada periode tertentu yang ditetapkan oleh tim ahli. Sedangkan kegiatan yang dilakukan pada bangunan cagar budaya dengan melakukan perkuatan sebagian bangunan cagar budaya tanpa melakukan pembongkaran adalah merupakan kegiatan konsolidasi.

Kegiatan tindakan pada bangunan cagar budaya dengan tujuan untuk mengembalikan kondisi bangunan cagar budaya agar dapat dimanfaatkan secara efisien untuk fungsi kekinian dengan cara perbaikan atau perubahan tertentu dengan tetap menjaga nilai sejarah, arsitektur dan budaya dinamakan kegiatan rehabilitasi. Sebaiknya kegiatan restorasi adalah kegiatan untuk mengembalikan bangunan cagar budaya yang dilakukan secara akurat sesuai dengan yang asli dengan menghindari penggunaan bahan bangunan atau elemen bangunan yang tidak asli, sehingga keaslian bangunan cagar budaya betul-betul terjaga sesuai dengan keaslian periode tertentu yang ditetapkan oleh tim ahli.

Siklus pada bangunan cagar budaya setelah ditetapkan harus dilakukan penelitian terkait dengan kelaikan fungsi dari bangunan, khususnya terkait dengan aspek keselamatan bangunan, sehingga bangunan cagar budaya tidak membahayakan bagi pengguna bangunan. Untuk itu perlu dilakukan kegiatan penelitian dan pengkajian kelayakan bangunan. Kegiatan penelitian dan pengkajian ini yang melatar-belakangi penyusunan buku ini di mana pada tahun 2012 Biro Umum Kementerian Keuangan meminta Pusat Penelitian

dan Pengembangan Permukiman untuk melakukan kajian dan penelitian terhadap bangunan cagar budaya AA Maramis, khususnya terkait dengan kelayakan teknis aspek struktur dan bahan bangunan.

Proses penelitian dan kajian bangunan cagar budaya harus dilakukan dengan kaidah dan metoda yang sistematis untuk mendapatkan informasi dan data terkait dengan keadaan bangunan baik dari sisi kondisi bahan bangunan, maupun keadaan komponen bangunan hingga bangunan itu sendiri sebagai satu sistem bangunan. Langkah panjang Kementerian Keuangan untuk berperan serta aktif dalam penyelamatan dan pelestarian bangunan cagar budaya berupa gedung saat ini telah mencapai pada tahap kenyataan. Hal ini diwujudkan dalam suatu kegiatan pemugaran dan pemanfaatan gedung cagar budaya A.A. Maramis pada tahun 2021 sampai dengan 2022 yang difungsikan sebagai ruang kegiatan Pimpinan Kementerian Keuangan, ruang serbaguna, museum dan perpustakaan. Perjalanan tersebut saat ini menjadi sebuah pengetahuan terkait dengan pemugaran cagar budaya.

Pada awal penanganan bangunan cagar budaya A.A. Maramis, kondisinya saat itu banyak yang tertutup oleh material baru, sehingga sulit untuk melihat kondisi keaslian bangunan untuk penilaian dan audit kerusakan bangunan secara detil dan menyeluruh. Selain itu, diperlukan data-data teknis bangunan (arsitektural, material, struktural, mekanikal, elektrik, utilitas, geologi dan hidrologi) sebagai acuan bagi kegiatan penelitian dan pengkajian sehingga dapat dituangkan kemudian ke dalam dokumen perencanaan pemugaran dan pemanfaatan. Berdasarkan rekomendasi UNESCO tahun 1975 tentang *Saving the Past for the Future* dan Undang-Undang No. 11 tahun 2010 tentang Cagar Budaya, maka setiap pemugaran bangunan cagar budaya harus memenuhi kaidah pemugaran yang berlaku, termasuk penyelenggaraan penelitian terlebih dahulu.



Gambar 1 Gedung Cagar Budaya AA Maramis Sebelum dan Sesudah Pemugaran

Bangunan cagar budaya dilakukan revitalisasi dalam upaya mengembangkan dan menumbuhkan kembali nilai-nilai penting yang dikandung oleh bangunan cagar budaya, melalui penyesuaian fungsi bangunan dan fungsi ruang-ruang di dalamnya, sejauh tidak mengganggu nilai-nilai yang dikandung bangunan cagar budaya tersebut. Selain itu kita juga kenal adanya pendekatan adaptasi pada fungsi bangunan dengan mengikuti tuntutan

zaman, dengan melakukan perubahan secara terbatas yang tidak akan mengakibatkan terganggunya nilai-nilai penting dari bangunan cagar budaya tersebut.

Dalam proses perencanaan kegiatan pemugaran bangunan gedung cagar budaya harus merujuk pada Standar Teknis Bangunan Gedung Cagar Budaya, yang merupakan ketentuan teknis terkait dengan tata bangunan, ketentuan pelestarian dan ketentuan keandalan, yang dituangkan dalam **Peraturan Menteri PUPR No. 19/PRT/M/2021**. Standar teknis dalam bentuk pedoman ini menjadi dasar dalam penyusunan rencana pelestarian bangunan cagar budaya, yang dituangkan ke dalam gambar rencana, penjelasan spesifikasi dan ketentuan pelaksanaan penanganan bangunan cagar budaya baik penanganan aspek material bahan bangunan, sistem struktur yang dilengkapi dengan perhitungan kinerja dan daya dukung struktur bangunan eksisting sebelum penanganan, sistem mekanikal dan elektrik, serta estimasi biaya setidaknya acuan dalam menghitung kebutuhan biaya, mengingat bangunan cagar budaya tidak memiliki standar biaya tersendiri, karena setiap bangunan memiliki keunikan tersendiri.

Sebagaimana pembangunan baru, bangunan cagar budaya pun, Ketika akan dilakukan pemugaran harus diawali dengan Persetujuan Bangunan Gedung (PBG) atau izin bangunan yang sebelum era PP 16 Tahun 2021 dinyatakan sebagai Izin mendirikan Bangunan (IMB) yang merupakan persyaratan juga bagi penyelenggaraan pemugaran bangunan cagar budaya. Penerbitan PBG oleh pemerintah daerah melalui proses verifikasi oleh Tim Ahli sebagai bahan rekomendasi diterbitkannya PBG oleh pemerintah kota/kabupaten adalah untuk memastikan bahwa proses perencanaan sesuai dengan ketentuan teknis yang telah diatur dalam peraturan menteri ataupun standar, dengan memastikan bahwa bangunan memenuhi kelayakan teknis terutama aspek keselamatan bangunan.

Secara khusus perizinan dalam mendirikan bangunan untuk bangunan cagar budaya pemerintah daerah menerbitkan dalam bentuk PBG-CG (Persetujuan Bangunan Gedung – Cagar Budaya). Dokumen perencanaan ini menjadi rujukan dalam pelaksanaan pemugaran bangunan cagar budaya. Setelah selesai pelaksanaan, bangunan cagar budaya yang baru selesai proses pemugarannya tidak secara langsung dapat dihuni atau digunakan, namun harus dimulai dengan pengujian kalaikan bangunan sebagai dasar diterbitkannya Sertifikat Laik Fungsi (SLF) oleh pemerintah daerah kota/kabupaten.

Seluruh proses penanganan bangunan gedung cagar budaya harus melibatkan Tenaga Ahli Pelestarian Bangunan gedung Cagar Budaya, yakni di dalam tim tersebut terdiri dari orang-orang yang memiliki keahlian yang dibuktikan juga dengan kepemilikan sertifikat keahlian di bidang perlindungan, pengembangan, atau pemanfaatan bangunan cagar budaya. Selain itu secara teknis juga harus didampingi oleh Tim Profesi Ahli Cagar Budaya (TPA-CB) yang terdiri dari sekumpulan orang yang memiliki kompetensi pelestarian bangunan cagar budaya secara teknis. Tim ini dibentuk dan ditunjukkan anggotanya oleh pemerintah daerah,

dengan tugas utama memberikan pertimbangan teknis kepada pemerintah daerah terkait penanganan bangunan gedung cagar budaya.

Proses pelaksanaan pelestarian bangunan cagar budaya seluruhnya dipantau dan diawasi oleh Penilik Bangunan Gedung Cagar Budaya (BGCG), yaitu seseorang yang mendapatkan tugas dari pemerintah untuk melakukan inspeksi terhadap penyelenggaraan bangunan gedung cagar budaya, dari sisi perencanaan, pelaksanaan pemugaran, maupun sisi pemanfaatan bangunan cagar budaya. Sehingga keberadaan bangunan cagar budaya tetap kokoh dengan nilai-nilai yang terkandung dalam bangunan gedung.

Status kepemilikan bangunan gedung cagar budaya dapat berupa bangunan Gedung yang dimiliki oleh pemerintah, perorangan, badan hukum, kelompok orang, perkumpulan, masyarakat hukum adat, yang dinyatakan oleh bukti kepemilikan yang sah sesuai dengan peraturan, seperti halnya bukti kepemilikan dalam bentuk sertifikat. Serta dalam hal insentif dan disinsentif maka pemilik bangunan gedung tersebutlah yang dapat menerima dan memiliki tanggung-jawab untuk memperlakukan bangunan cagar budaya sesuai dengan aturan.

Terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan dalam penanganan bangunan cagar budaya sebagaimana diatur dalam Peraturan menteri PUPR No. 19/PRT/M/2021. Dalam penanganan bangunan cagar budaya yang dilestarikan harus memenuhi standar teknis khususnya dari aspek keselamatan bangunan mengingat secara umum bangunan cagar budaya adalah bangunan yang sudah mengalami fatik (dan bisa jadi juga mengalami deteriorasi material) dikarenakan faktor usia bangunan. Proses pelaksanaan pelestarian harus memperhatikan cara penanganannya, mengingat dalam penanganan saat pelaksanaan pemugaran, pemanfaatan dan pemeliharaan dari bangunan cagar budaya harus dapat tetap menjaga nilai-nilai yang dikandung oleh bangunan tersebut jangan sampai terjadi penurunan nilai. Tiga ketentuan dalam penanganan bangunan cagar budaya, yakni:

1. ketentuan tata bangunan;
2. ketentuan pelestarian bangunan cagar budaya;
3. ketentuan keandalan bangunan cagar budaya.

Selanjutnya dalam peraturan menteri yang sama juga diatur terkait dengan kompensasi dalam bentuk insentif dan disinsentif kepada perorangan atau lembaga yang memiliki bangunan gedung cagar budaya. Adapun kaidah utama dalam pelestarian bangunan gedung cagar budaya adalah upaya yang dilakukan dalam rangka menjaga, melindungi, dan mempertahankan keberadaan, nilai penting, dan arti khusus yang terdapat dalam bangunan cagar budaya.

Dalam melaksanakan pelestarian bangunan cagar budaya, perlakuan terhadap bangunan harus sesedikit mungkin melakukan perubahan atau penambahan elemen baru, sedapat mungkin harus mempertahankan keaslian serta harus penuh kehati-hatian dan

bertanggung-jawab dalam penanganannya. Bila kondisi sangat mendesak harus dilakukan pergantian komponen bangunan, terutama menyangkut aspek keselamatan, maka perubahan dan penambahan elemen baru harus diupayakan mendekati kondisi semula dengan tingkat perubahan sekecil mungkin, dengan memperhatikan pemilihan teknis, metoda, dan bahan yang tidak bersifat merusak. Dalam hal harus dilakukan pergantian elemen dalam upaya untuk mengembalikan pada wujud baru, maka elemen asli dan elemen baru harus tetap terlihat, tidak dilakukan penyamaran seolah-olah elemen baru adalah elemen asli. Hal tersebut dapat dilakukan dengan memberi penanda, bahwa elemen tersebut adalah elemen baru, meskipun sesuai dengan aslinya.

Seluruh proses pelestarian harus berdasarkan hasil kajian berupa studi kelayakan yang dapat dipertanggung-jawabkan secara akademis, teknis, dan administratif dengan memperhatikan etika pelestarian. Seluruh kegiatan pelestarian harus terdokumentasikan sejak kondisi bangunan sebelum, saat dan setelah dipugar. Seluruh dokumentasi diarsip sebagai dokumen pelestarian bangunan cagar budaya, yang dapat digunakan untuk tindakan lebih lanjut pada kegiatan pelestarian pada masa mendatang.

Dalam upaya pelestarian bangunan cagar budaya untuk menjaga, melindungi, dan mempertahankan keberadaan bangunan cagar budaya, maka kegiatan perlindungan terhadap bangunan cagar budaya perlu dilakukan empat tahapan, yakni penyelamatan, pengamanan, pemeliharaan dan pemugaran. Pada tahap penyelamatan bangunan cagar budaya, maka perlu ditetapkan status bangunan sebagai bangunan cagar budaya, sebagaimana yang diamanatkan dalam Undang-Undang Cagar Budaya, termasuk pengamanan, dengan perlindungan tersebut, bangunan cagar budaya tidak dilakukan proses perubahan yang tidak sesuai dengan kaidah-kaidah pelestarian.

Proses pengembangan bangunan cagar budaya terdiri dari tiga jenis, yakni:

1. penelitian terhadap bangunan cagar budaya;
2. revitalisasi dan adaptasi, baik adaptasi yang dilakukan terhadap bangunan secara fisik maupun adaptasi terhadap kegiatan di dalam bangunan, dengan difungsikannya bangunan cagar budaya dengan fungsi-fungsi baru yang relevan dengan masa kini;
3. pemugaran bangunan cagar budaya terdiri dari empat jenis pemugaran, yaitu: Rekonstruksi, Konsolidasi, Rehabilitasi dan Restorasi.

Penetapan Status Bangunan Cagar Budaya

Proses penetapan bangunan cagar budaya sebagaimana diatur dalam Undang-Undang Bangunan Cagar Budaya No. 11 Tahun 2010, yang mengamanatkan bahwa negara bertanggung-jawab untuk melestarikan melalui pengaturan perlindungan, pengembangan dan pemanfaatan bangunan cagar budaya. Bangunan cagar budaya harus dipandang sebagai kekayaan budaya bangsa, yang merupakan wujud dari pemikiran dan perilaku

kehidupan masyarakat yang berkembang dan berlaku pada eranya. Bangunan cagar budaya merupakan sumber ilmu pengetahuan tidak tertulis dalam wujud karya fisik arsitektur bangunan, yang memiliki nilai yang berarti bagi kehidupan dan penghidupan saat ini dan masa depan.

Berdasarkan undang-undang cagar budaya, terminologi dari cagar budaya adalah warisan budaya yang bersifat kebendaan berupa benda cagar budaya, **bangunan cagar budaya**, struktur cagar budaya yang perlu dilakukan dilestarikan keberadaannya karena memiliki nilai penting bagi sejarah, ilmu pengetahuan, pendidikan, agama atau kebudayaan yang harus ditetapkan melalui sebuah mekanisme dalam penetapan sebagai cagar budaya. Dalam lingkup buku ini, hanya akan membahas bangunan cagar budaya, yang merupakan karya buah pikir manusia yang diwujudkan dalam bentuk arsitektur bangunan. Pengertian bangunan cagar budaya menurut undang-undang cagar budaya *“adalah susunan binaan yang terbuat dari benda atau benda buatan manusia untuk memenuhi kebutuhan ruang berinding dan atau tidak berinding, dan beratap”*. Pada saat ini wujud benda tersebut adalah sebuah karya arsitektural dari hasil pemikiran dalam proses analisis yang dituangkan dalam karya rancang bangun. Beberapa bangunan cagar budaya juga ditemui ada yang tidak diketahui arsitek yang merancanginya, khususnya pada bangunan-bangunan arsitektur tradisional.

Setiap bangunan sudah dipastikan ada pemiliknya, dalam hal ini pemilik bangunan cagar budaya dapat dimiliki oleh perorangan maupun kelompok orang, dapat sebagai milik negara (BMN atau BMD) atau lembaga swasta, yang ditunjukkan dengan bukti kepemilikan. Kepemilikan adalah hak terkuat terhadap cagar budaya dengan tetap memperhatikan fungsi sosial dan kewajiban untuk melakukan pemeliharaan terhadap bangunan cagar budaya. Sedangkan bangunan cagar budaya yang dimiliki oleh perorangan atau lembaga swasta untuk penguasaan atas bangunan cagar budaya dapat diberikan kepada pemerintah atau kepada perorangan atau kepada lembaga untuk mengelola bangunan cagar budaya dengan tetap memperhatikan fungsi sosial dan kewajiban melestarikan. Bangunan Gedung cagar budaya yang dikuasai oleh negara adalah bangunan-bangunan yang kewenangan tertingginya berada di tangan negara dalam menyelenggarakan pengaturan perbuatan hukum berkenaan dengan pelestarian bangunan cagar budaya.

Sebelum proses penetapan sebagai bangunan cagar budaya, maka sebuah bangunan yang akan ditetapkan sebagai bangunan cagar budaya harus dipastikan memenuhi kriteria bangunan cagar budaya, kriteria tersebut meliputi:

1. bangunan sudah berusia lebih dari 50 (lima puluh) tahun
2. bangunan mewakili masa gaya paling singkat berusia 50 (lima puluh) tahun
3. bangunan memiliki arti khusus bagi sejarah, ilmu pengetahuan, pendidikan, agama, kebudayaan, dan
4. bangunan memiliki nilai budaya bagi penguatan kepribadian bangsa.

Salah satu dasar terkuat dalam menetapkan sebuah bangunan menjadi bangunan cagar budaya adalah keberadaan arti khusus pada bangunan tersebut, sehingga ketentuan terkait dengan usia bangunan sudah mencapai usia 50 (lima puluh) tahun tidak menjadi syarat mutlak. Sehingga bangunan-bangunan yang memiliki nilai khusus meskipun belum mencapai usia bangunan lebih dari 50 (lima puluh) tahun dimungkinkan untuk diajukan penetapan sebagai bangunan cagar budaya.

Bangunan cagar budaya yang dikuasai atau dimiliki oleh perorangan atau lembaga harus didaftarkan kepada pemerintah daerah kota/kabupaten. Proses pendaftaran bangunan cagar budaya harus disampaikan melalui deskripsi yang disertakan dengan dokumentasi yang menunjukkan nilai arti pentingnya bangunan tersebut. Pendaftaran bangunan cagar budaya dilakukan melalui proses yang dibentuk oleh pemerintah daerah, proses dapat dilakukan secara digital maupun non-digital.

Hasil pendaftaran yang diserahkan masyarakat kepada pemerintah daerah, selanjutnya diserahkan kepada Tim Ahli Cagar Budaya untuk dilakukan pengkajian lebih lanjut terkait dengan pemenuhan kriteria cagar budaya. Proses pengkajian bertujuan untuk melakukan identifikasi dan klarifikasi terhadap bangunan cagar budaya untuk dapat ditetapkan sebagai bangunan cagar budaya. Tim Ahli Bangunan Cagar Budaya dibentuk dan ditetapkan oleh Keputusan Menteri untuk tingkat nasional, keputusan Gubernur untuk tingkat provinsi dan keputusan Bupati/Walikota untuk tingkat kabupaten atau kota.

Tim ahli Cagar Budaya terdiri dari unsur-unsur pemerintah, unsur perguruan tinggi, unsur profesional, unsur asosiasi, dan masyarakat. Dimana dalam proses pengkajiannya tim ini dibantu oleh tim teknis yang berada dalam satuan perangkat kerja pemerintah. Selama proses pengkajian bangunan tersebut sudah harus diperlakukan sebagai bangunan cagar budaya, sehingga tindakan atas bangunan tersebut tidak melanggar kaidah-kaidah dalam penanganan bangunan cagar budaya.

Penetapan status sebagai bangunan cagar budaya oleh kepala daerah dilaksanakan tidak lebih dari 30 (tiga puluh) hari setelah rekomendasi dari Tim Cagar Budaya yang dinyatakan bahwa bangunan tersebut layak ditetapkan sebagai bangunan cagar budaya. Untuk selanjutnya dicatat dan diregistrasikan dalam *register* Nasional Cagar Budaya, yang memberikan jaminan hukum berupa surat keterangan status bangunan cagar budaya dan atau bukti keterangan kepemilikan berdasarkan bukti yang sah. Dasar tersebut merupakan syarat untuk mendapatkan kompensasi dalam bentuk insentif.

Kepemilikan Bangunan Cagar Budaya

Kepemilikan bangunan cagar budaya sebagaimana diatur dalam undang-undang cagar budaya, bangunan cagar budaya sangat dimungkinkan dimiliki dan dikuasai oleh perseorangan, status kepemilikan sebuah bangunan cagar budaya dapat diperoleh melalui pewarisan, hibah, tukar menukar, hadiah, pembelian, dan atau putusan dari penetapan

pengadilan dari bangunan cagar budaya yang dikuasai oleh perorangan atau Lembaga, sedangkan bangunan cagar budaya yang dikuasai oleh negara hal ini tidak dapat dilakukan. Sebuah bangunan cagar budaya yang tidak memiliki ahli waris atau tidak diserahkannya bangunan cagar budaya tersebut kepada orang lain berdasarkan dokumen wasiat, hibah, atau hadiah dari pemilik sebelumnya yang meninggal dunia, maka kepemilikan bangunan cagar budaya tersebut dapat diambil alih oleh negara.

Pada bangunan cagar budaya yang kepemilikannya dialihkan secara turun temurun secara hukum adat, maka bangunan tersebut tidak dapat diambil alih oleh negara. Sedangkan pada bangunan cagar budaya yang tidak jelas kepemilikannya, maka secara otomatis dapat diambil-alih oleh negara. Bangunan cagar budaya yang telah dimiliki oleh negara tidak dapat dialihkan status kepemilikannya kepada pihak lain.

Warga negara asing atau badan hukum asing tidak dapat memiliki dan menguasai bangunan cagar budaya, kecuali warga negara asing dan badan usaha asing yang menetap tinggal di wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia. Warga negara asing maupun badan hukum asing tersebut tidak boleh membawa bagian-bagian dari komponen bangunan ke luar dari wilayah Indonesia.

Seseorang yang memiliki atau menguasai bangunan cagar budaya berhak memperoleh kompensasi dengan syarat telah melakukan kewajiban dalam melindungi bangunan cagar budaya. Bentuk kompensasi atas penguasaan bangunan cagar budaya tersebut antara lain dalam bentuk insentif pajak bumi dan bangunan, maupun pajak penghasilan.

Pemeringkatan Bangunan Cagar Budaya

Bangunan cagar budaya memiliki beberapa peringkat, peringkat tersebut ditentukan oleh tingkat kepentingan dan nilai-nilai yang dapat dirasakan oleh masyarakat yang dirasakan pada seluruh rakyat Indonesia secara nasional, provinsi atau kota kabupaten. Proses pemeringkatan ditentukan oleh Tim Ahli Cagar Budaya.

Bangunan cagar budaya dinyatakan sebagai bangunan cagar budaya dengan peringkat nasional, bila memenuhi kriteria bahwa bangunan tersebut dapat meningkatkan ikatan kesatuan antar anak bangsa, hampir seluruh anak bangsa merasa memiliki atas bangunan tersebut. Sebuah bangunan yang memiliki nilai adiluhung sebagai cerminan dari kekhasan budaya bangsa Indonesia, termasuk juga bangunan yang memiliki kekhasan dan keberadaannya sangat jarang serta memiliki keunikan rancang bangun maka dapat diberikan sebagai peringkat nasional. Selain itu bangunan cagar budaya dapat diberi peringkat nasional bila bangunan tersebut memiliki bukti evolusi peradaban bangsa serta pertukaran budaya lintas negara dan lintas daerah, contohnya adalah Kawasan permukiman tradisional yang keberadaannya terancam punah.

BAB II. Pengupasan Bangunan

Banyak dari bangunan cagar budaya yang telah mengalami penambahan-penambahan bagian bangunannya, yang disebabkan oleh tuntutan dari fungsi bangunan yang tidak sesuai dengan kondisi saat ini, juga akibat dari kondisi bahan bangunan yang tidak memenuhi selera masa kini, sehingga bangunan cagar budaya mendapat tambahan komponen baru. Sama halnya dengan gedung AA Maramis, hampir setiap masa mengalami penambahan, salah satu yang paling menonjol tambahan tersebut adalah plafon, pada awalnya plafon gedung tersebut terbuat dari papan dengan ukuran lebar 20 cm, namun pada periode tertentu plafon tersebut ditutup dengan plafon berbahan asbes plat dengan menurunkan ketinggian plafon tanpa membuang plafon aslinya. Dengan berjalannya waktu penambahan juga terjadi pada periode-periode berikutnya dengan perlakuan yang sama, dimana penambahan tidak diikuti dengan membongkar plafon yang sudah terpasang sebelumnya. Pada akhirnya terjadi beban mati tambahan dari komponen plafon tambahan dan ironisnya semakin hari bangunan semakin fatik (dan juga mengalami deteriorasi material), yang menyebabkan struktur bangunan tidak mampu memikul beban tersebut, sehingga berpotensi terjadinya *overload* yang memicu kerusakan bahkan keruntuhan sehingga membahayakan bagi pengguna bangunan.

Kondisi tersebut tidak saja terjadi pada plafon bangunan, begitu juga pada lantai bangunan yang telah dilakukan beberapa pelapisan penambahan lantai (*overlaying*) tanpa dilakukan pembongkaran lantai yang berada sebelumnya. Penambahan lantai baru tanpa membongkar yang lama akan menambah beban mati yang bekerja pada struktur bangunan. Selain lantai terjadi juga pergantian bahan atap yang semula menggunakan bahan penutup atap seng menjadi genteng beton yang tentunya memiliki berat jenis dan bobot total yang jauh lebih besar. Penambahan dan pergantian bahan ini mengakibatkan terjadinya penambahan beban mati bangunan yang tidak sesuai dengan kondisi bangunan yang sudah mengalami deteriorasi sehingga dapat mempengaruhi kemampuan struktur bangunan dalam memikul beban.

Perubahan dan penyimpangan dalam pemanfaatan bangunan cagar budaya tidak sebatas pergantian dan penambahan bahan bangunan, akan tetapi juga dalam pemanfaatan bangunan, yang dapat berkonsekuensi pada penambahan beban hidup. Ambil saja contoh -apa yang terjadi dengan gedung AA Maramis- pada saat peninjauan awal, gedung tersebut selain digunakan untuk kegiatan kantor, sebagian ruang juga digunakan sebagai ruang arsip semi gudang dari meuble dan peralatan komputer yang sudah tidak terpakai diletakkan dalam ruang tersebut, yang mengakibatkan terjadi beban berlebih, sehingga

mengakibatkan sebagian dinding bangunan terjungkit oleh balok utama yang memikul beban dan mengakibatkan dinding sisi luar terangkat ke atas dan belah.

Tindakan pertama yang harus dilakukan dalam rangka penyelamatan bangunan cagar budaya adalah dengan mengurangi beban-beban yang bekerja pada bangunan, baik beban mati maupun beban hidup. Pada tahap awal yang dapat dilakukan adalah dengan mengurangi beban hidup, kegiatan dan fungsi ruang harus disesuaikan, bila kondisi sudah sangat membahayakan maka fungsi ruang perlu dikosongkan atau tidak digunakan. Tahap berikutnya setelah dikosongkan adalah pembongkaran pada komponen-komponen bahan bangunan tambahan, seperti bahan plafon, lantai, termasuk penutup lapis dinding tambahan, seperti dinding lambersering, dinding partisi tambahan yang seluruh tambahan tersebut tidak pernah diperhitungkan pada saat perhitungan kinerja struktur bangunan saat perencanaan.

Pembongkaran bagian tambahan tersebut dilakukan dengan menyusun desain rencana teknis pembongkaran (RTB), sebagaimana diatur dalam Undang-Undang Bangunan Gedung serta Peraturan Pemerintah yang berlaku pada saat itu, yakni PP No. 36 Tahun 2005 yang saat ini diganti oleh PP 16 No. Tahun 2021 tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang No. 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung. Dokumen yang disusun selain gambar-gambar metoda pembongkaran juga dilengkapi dengan tata cara pembongkaran. Pembongkaran dilakukan dengan cara mundur atau urutan terbalik terhadap pelaksanaan pembangunan. Pembongkaran dimulai dari pekerjaan terakhir pada saat pembangunan dan diakhiri oleh pekerjaan pertama pada saat pembangunan.

Dalam hal penanganan bangunan cagar budaya, kegiatan pendokumentasian sangat penting. Pendokumentasian dilakukan dalam bentuk fotografi dan dokumentasi penggambaran ulang kondisi eksisting sebelum dibongkar. Dokumentasi dilakukan pada titik pandang yang sama (*angle*) sebelum, saat proses pembongkaran serta sesudah pembongkaran. Uraian berikut menjelaskan tahapan pembongkaran yang dilakukan pada komponen tambahan bangunan cagar budaya.

Persiapan

Data/Informasi perencanaan bangunan gedung

Kegiatan pekerjaan sebelum pengupasan komponen/elemen dan pemindahan benda/artefak pada bangunan gedung, perlu memperhatikan hal-hal berikut :

- 1 gambar perencanaan tapak, bangunan termasuk perubahan-perubahannya, serta tempat kedudukan benda-benda/artefak bernilai arsitektur dan sejarah/cagar budaya pada bangunan gedung,
- 2 fungsi dan kegiatan di dalam dan di luar bangunan gedung,
- 3 jumlah bangunan gedung yang pada bagian tertentu akan dibongkar,
- 4 ukuran fisik dan jarak antara komponen/elemen bangunan yang akan dibongkar dan benda/artefak yang akan dipindahkan,

- 5 jenis, sifat dan kondisi benda/artefak yang berada, menempel, melekat, tertanam pada komponen/elemen bangunan yang akan dibongkar.

Perencanaan peralatan dan perlengkapan pengupasan

Peralatan dan perlengkapan untuk kegiatan pekerjaan pengupasan meliputi :

- 1 jenis peralatan dan perlengkapan untuk pengupasan komponen/elemen bangunan gedung dan pemindahan benda-benda/artefak,
- 2 kinerja kegiatan pelaksanaan pengupasan komponen/elemen bangunan gedung,
- 3 moda transportasi dan sirkulasi yang digunakan pekerja dan penyelia,
- 4 rambu-rambu petunjuk (simbol) tempat/lokasi, arah dan larangan ke wilayah/area kegiatan pengupasan komponen/elemen bangunan gedung,
- 5 pembatasan ruang kerja kegiatan pengupasan komponen/elemen bangunan gedung berupa garis lintasan kerja, larangan masuk ke lokasi, penutupan atau pemagaran di sekeliling bangunan gedung,
- 6 pos P3K (Pertolongan Pertama Pada Kecelakaan) dan perlengkapan kesehatan yang bersifat darurat) lingkungan kegiatan kerja pada masing-masing bangunan,
- 7 pos jaga, satuan pengamanan, dan perlengkapannya pada masing-masing bangunan,
- 8 pos pemadam kebakaran, armada dan perlengkapan pemadaman di lingkungan kegiatan kerja pada masing-masing bangunan,
- 9 situasi dan kondisi wilayah/ruang/lokasi/area kegiatan pekerjaan,
- 10 tempat kerja (*workshop*) penyiapan bahan bangunan dan konstruksi,
- 11 peralatan dan perlengkapan penunjang lainnya yang diperlukan,
- 12 mekanikal dan elektrikl penunjang pelaksanaan kegiatan pekerjaan.

Pengamanan dan perlindungan area/lokasi kegiatan kerja

Pekerjaan pengamanan dan perlindungan kegiatan pekerjaan pengupasan bangunan gedung dan pemindahan benda-benda/artefak dengan memperhatikan:

- 1 identifikasi, penomoran dan penandaan area/lokasi dan benda/artefak,
- 2 pemindahan dan pengawasan pengendalian area/lokasi dan penempatan sementara benda/artefak,
- 3 penyiapan peralatan dan perlengkapan kegiatan pengupasan,
- 4 pemutusan jaringan dan instalasi bangunan gedung (listrik, telepon, petir, mekanikal dan elektrikl, air bersih/air minum, air hujan/drainase (*drain water*), air kotor (*grey water*) dan air limbah (*black water*).

Sumber daya tenaga dan peralatan

Penyelenggaraan tenaga manusia yang kompeten dan peralatan yang memadai dengan memperhatikan:

- 1 kebutuhan tenaga ahli, tenaga terampil, dan tenaga pendukung lainnya,

- 2 penyediaan peralatan dan perlengkapan pendukung kegiatan pengupasan,
- 3 Pedoman/Petunjuk Teknis dan administrasi, terkait dengan prosedur penyediaan jasa konsultan dan pengupasan, sesuai dengan ketentuan dan peraturan perundangan yang berlaku.

Tata cara dan metode pengupasan

Perlakuan terhadap penyelenggaraan kegiatan pekerjaan dengan memperhatikan:

- 1 benda/artefak bernilai arsitektur dan sejarah/cagar budaya yang terpasang atau melekat pada elemen/komponen bagian ruangan dalam dan luar bangunan gedung,
- 2 identifikasi dan inventarisasi, klasifikasi dan penomoran letak/posisi benda/artefak dan komponen/elemen bangunan gedung,
- 3 pengamanan benda/artefak dan komponen/elemen bangunan yang akan dibongkar,
- 4 pemindahan dan peralatan bantu sebelum pengupasan, penempatan atau penyimpanan sementara benda/artefak dan komponen/elemen bangunan,
- 5 pengawasan dan pengendalian pelaksanaan kegiatan sebelum, sedang dan sesudah pengupasan komponen/elemen bangunan. Pekerjaan pengupasan dilakukan oleh tenaga ahli dan tenaga terampil sesuai dengan ketentuan dan peraturan perundangan yang berlaku,
- 6 kegiatan perlakuan harus mendapat persetujuan pihak pengguna jasa/pemilik bangunan.

Penyusunan rencana teknis pengupasan

Rencana teknis pengupasan komponen/elemen bangunan gedung dipersiapkan oleh penyedia jasa konsultan melalui proses dan prosedur pengadaan barang dan jasa, sesuai dengan ketentuan dan peraturan perundangan yang berlaku.

Pelelangan pekerjaan pengupasan

Pelelangan pekerjaan pengupasan komponen/elemen bangunan gedung dengan menyertakan penyedia jasa konstruksi melalui proses dan prosedur pengadaan barang dan jasa, sesuai dengan ketentuan dan peraturan perundangan yang berlaku.

Pelaksanaan pekerjaan pengupasan

Pelelangan pekerjaan pengupasan komponen/elemen bangunan gedung dengan menyertakan penyedia jasa konstruksi melalui proses dan prosedur pengadaan barang dan jasa, sesuai dengan ketentuan dan peraturan perundangan yang berlaku. Pekerjaan pengupasan komponen/elemen bangunan gedung meliputi:

- 1 pengupasan jaringan dan instalasi,
- 2 pengupasan plambing,
- 3 pengupasan armatur lampu/penerangan,

- 4 pengupasan plafon,
- 5 pengupasan dinding,
- 6 pengupasan lantai.

Penyusunan Rencana Pelaksanaan teknis pengupasan

Rencana pelaksanaan disusun berdasarkan dokumen perencanaan pembongkaran (RTB) yang telah mendapat persetujuan teknis yang didalamnya telah dituangkan secara rinci mengenai rencana teknis pembongkaran atau pengupasan bangunan. Kegiatan pekerjaan diuraikan secara mingguan dan harus mengantisipasi berbagai kemungkinan yang tidak terekam dalam perencanaan, mengingat beberapa bangunan tua telah mengalami beberapa kali penambahan elemen baik pada sisi interior maupun eksterior dengan tidak diikuti pembongkaran bagian lama.

Oleh karena itu, pelaksanaan pengupasan bangunan harus direkam tahap demi tahap, termasuk dokumen rencana pengupasan harus dilakukan secara dinamis. Dalam hal ini, dokumen perencanaan merupakan *living document*, yang setiap saat dapat berubah sesuai dengan kondisi yang ditemukan pada saat pekerjaan pengupasan dilakukan. Dalam tahap pekerjaan pengupasan, harus direncanakan pekerjaan yang akan dilakukan dalam satu minggu, diikuti perhitungan volume dan satuan pekerjaan, serta mencatat volume realisasi pekerjaan, sebagaimana contoh pada Form 01.

FORM 01 : Rencana kegiatan pengupasan

Bangunan : _____

Lantai : _____

Ruang : _____ Kode Ruang : _____

Hari/tanggal : _____ s.d. _____

No.	Kode	Item Pekerjaan Pengupasan	Volume		satuan	Keterangan
			Rencana	Realisasi		
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
n.						

Diajukan

Diperiksa

Disetujui

(Projek manajer)

(Koordinator Teknis)

(Koordinator Adm/PPK)

Jenis pekerjaan dan volume pekerjaan yang tertuang dalam Form 01, selanjutnya dilakukan analisis kebutuhan tenaga kerja serta kualifikasi dari tenaga kerja yang dibutuhkan untuk mengerjakan pekerjaan yang terkait dengan proses pengupasan, tenaga kerja yang harus memiliki sertifikat keahlian atau keterampilan. Kebutuhan tenaga kerja tersebut dituangkan dalam Form 02 berikut.

FORM 02 : Rencana kebutuhan tenaga kerja

Bangunan : _____

Lantai : _____

Ruang : _____ Kode Ruang : _____

Hari/tanggal : _____ s.d. _____

No.	Kategori Pekerja	Jumlah	Satuan	Keterangan
1.	Mandor			Dijelaskan kualifikasi yang dipersyaratkan untuk menangani jenis pekerjaan terkait
2.	Kepala Tukang			
3.	Tukang			
4.	Pekerja/Laden			

Diajukan

Diperiksa

Disetujui

(Projek manajer)

(Koordinator Teknis)

(Koordinator Adm/PPK)

Kehadiran dan jam kerja untuk setiap pekerja harus direkam, sehingga produktivitas pekerja dapat ditentukan. Mengingat beberapa jenis pekerjaan pada penanganan bangunan cagar budaya tidak ada yang baku karena sangat tergantung dari jenis dan tipe bangunan yang ditangani.

Beberapa jenis pekerjaan pengupasan perlu dibuat acuan analisis produktivitas sebagai acuan dalam pelaksanaan pekerjaan pengupasan, sehingga didapat koefisien satuan pekerjaan pengupasan bangunan. Tahap analisis untuk mendapatkan koefisien dapat dilakukan sebagai bagian dari pra-pekerjaan sebelum pekerjaan persiapan atau dilakukan pada saat pekerjaan perencanaan dengan melakukan *time motion study* pada beberapa pekerjaan yang belum memiliki koefisien pekerjaan.

Untuk selanjutnya koefisien tersebut dibakukan sebagai bahan dalam menyusun kebutuhan biaya pekerja pengupasan, untuk melakukan rekaman waktu dan gerak pekerja pada saat pengupasan, selain koefisien juga ditetapkan jenis peralatan dan alat bantu yang diperlukan untuk mengerjakan pekerjaan tersebut. Untuk rekaman waktu pekerjaan menggunakan

Form 03 di bawah ini, sedangkan untuk merekan alat bantu dan alat kerja gunakan Form 04.

FORM 03 : Daftar hadir pekerja

Bangunan : _____
 Lantai : _____
 Ruang : _____ Kode Ruang : _____
 Hari/tanggal : _____ s.d. _____

No.	Nama Pekerja	Status	No. KTP	Tanda-tangan	
				pagi	Sore
1.		Mandor			
2.		Kepala tukang			
3.		Tukang			
4.		Laden			
5.					
n.					

Diajukan

Diperiksa

Disetujui

(Manajer Proyek)

(Koordinator Teknis)

(Koordinator Adm/PPK)

Pada setiap tahapan pekerjaan pengupasan harus dilakukan perencanaan kebutuhan alat bantu dan alat kerja yang akan diperlukan. Alat bantu merupakan peralatan yang harus disiapkan oleh perusahaan kontraktor pengupasan sedangkan alat kerja merupakan peralatan yang harus dimiliki oleh setiap pekerja. Jenis alat kerja dan alat bantu tersebut harus dituangkan dalam sebuah perencanaan pekerjaan dengan menjelaskan untuk mendapatkan alat bantu dan alat kerja tersebut dengan cara membeli atau dengan cara menyewa.



Gambar 2. Foto kiri Alat kerja dan foto kanan Alat Bantu

FORM 04 : Daftar alat bantu dan alat kerja

Bangunan : _____

Lantai : _____

Ruang : _____ Kode Ruang : _____

Hari/tanggal : _____ s.d. _____

No.	Jenis Alat	Pengadaan		Waktu pemakaian	Keterangan
		Beli	Sewa		
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
n.					

Diajukan

Diperiksa

Disetujui

(Projek manajer)

(Koordinator Teknis)

(Koordinator Adm/PPK)

Pada setiap pekerjaan pengupasan harus dijelaskan metode kerja yang akan dilakukan pada tiap tahapannya, yang dituangkan dalam bentuk gambar, rencana kerja dan syarat-syarat pekerjaan pengupasan yang dilakukan.

FORM 05 : SOP/METODA

Bangunan : _____

Lantai : _____

Ruang : _____ Kode Ruang : _____

Hari/tanggal : _____ s.d. _____

No.	SOP/Metoda Pengupasan	Kendala	Perbaikan SOP	Keterangan
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
n.				

Diajukan

Diperiksa

Disetujui

(Projek manajer)

(Koordinator Teknis)

(Koordinator Adm/PPK)

Dengan teridentifikasinya metoda kerja, serta kebutuhan pekerja dengan alat kerja dan alat bantu, maka estimasi biaya yang diperlukan dalam pekerjaan pengupasan dapat dilakukan. Tahap berikutnya yang harus disusun adalah estimasi kebutuhan biaya untuk setiap *item* pekerjaan.

FORM 06 : Estimasi Biaya

Bangunan : _____

Lantai : _____

Ruang : _____ Kode Ruang : _____

Hari/tanggal : _____ s.d. _____

No.	Item	Volume	Satuan	Harga satuan	Total
1.	Honor/Upah			Rp.	Rp.
2.	Bahan			Rp.	Rp.
3.	Alat			Rp.	Rp.
4.	Lain-lain			Rp.	Rp.
Jumlah					Rp.

Diajukan

Diperiksa

Disetujui

(Projek manajer)

(Koordinator Teknis)

(Koordinator Adm/PPK)

Selanjutnya setelah pelaksanaan setiap *item* pekerjaan pengupasan dilakukan, dapat dilakukan rekaman biaya riil yang dikeluarkan untuk setiap jenis pekerjaan pengupasan.

FORM 07 : Realisasi Biaya

Bangunan : _____

Lantai : _____

Ruang : _____ Kode Ruang : _____

Hari/tanggal : _____ s.d. _____

No.	Item	Volume	Satuan	Harga satuan	Total
1.	Honor/Upah			Rp.	Rp.
2.	Bahan			Rp.	Rp.
3.	Alat			Rp.	Rp.
4.	Lain-lain			Rp.	Rp.
Jumlah					Rp.

Diajukan

Diperiksa

Disetujui

(Projek manajer)

(Koordinator Teknis)

(Koordinator Adm/PPK)

Dokumentasi sangat penting dalam penanganan bangunan cagar budaya, baik dokumentasi sebelum pengupasan, saat pengupasan dan setelah pengupasan, termasuk dokumentasi harus dilakukan pada saat pemugaran bangunan cagar budaya dilakukan. Pendokumentasian pekerjaan dapat dibuat dengan mengacu pada Form 08 berikut.

FORM 08 : Dokumentasi pekerjaan

Bangunan : _____
 Lantai : _____
 Ruang : _____ Kode Ruang : _____
 Hari/tanggal : _____ s.d. _____

No.	Daftar dokumentasi	Kode lokasi	Kode foto/video/gambar	Keterangan
1. 2. 3. 4. 5. n.	Susun pendokumentasian berdasarkan urutan pekerjaan, misalnya pembongkaran list plafon, rangka plafon, penutup plafon, dst	Sesuai dengan gambar	Lampiran dalam bentuk file digital dan hardcopy	Beri penjelasan hal-hal yang berkaitan dengan kondisi bangunan.

Disusun, _____ disetujui, _____

(Koord. Dokumentasi)

(koordinator Lapangan)

Pendokumentasian dilakukan berdasarkan urutan pekerjaan, tahapan demi tahapan pengupasan. Dokumentasi dilakukan melalui gambar sketsa keadaan sebelumnya; membuat gambar teknis yang memuat penggambaran dengan skala yang dapat dibaca pada bagian yang akan dibongkar, juga gambar yang menunjukkan bagian tampilan dari elemen bangunan yang akan dibongkar, juga gambar harus menjelaskan konstruksi yang digunakan dalam membentuk tampilan elemen bangunan tersebut.

Dokumentasi dalam bentuk Gambar teknis harus disesuaikan ketika ditemukan adanya hal-hal atau kondisi yang tidak diperkirakan, serta dilakukan rekaman dalam bentuk dokumentasi foto atau video yang menjelaskan kondisi tertentu, serta harus menjelaskan posisi serta titik elemen khusus tersebut berada.

Seluruh dokumentasi dalam bentuk foto dan video harus dapat menjelaskan lokasi pengambilan dan dapat dilacak pada saat tertentu, terkait dengan lokasi dan tempat dari setiap dokumentasi tersebut diambil, termasuk waktu pengambilan. Untuk itu dokumentasi dalam bentuk foto harus segera diklasifikasikan dalam sebuah folder dan diurut berdasarkan waktu dan tahapan pekerjaan. Serta temuan hal khusus tersebut harus dituangkan dalam Berita Acara sebagaimana dicontohkan dalam Form 09.

FORM 09 : Berita Acara Temuan Lapangan

Bangunan : _____
Lantai : _____
Ruang : _____ Kode Ruang : _____
Hari/tanggal : _____ s.d. _____

No.	Kode Lokasi	Temuan	Rencana Tindak
1.		Temuan diisi oleh pengawas lapangan atau mandor, kemudian dilaporkan kepada Site Manajer dan Proyek Manajer, Proyek Manajer melaporkan temuan tersebut kepada Koordinator Teknis	Rencana tindak dibahas oleh koordinator teknis dengan melibatkan Tim Teknis, untuk memutuskan rencana tindak. Rencana tidak disusun dalam dokumen teknis dan administrasi

Disampaikan
Tgl : _____

Diproses/Diajukan
Tgl : _____

Disetujui
Tgl : _____

(Proyek manajer)

(Koordinator Teknis)

(Koordinator Adm/PPK)

Pekerjaan pengamanan harus dilakukan untuk berbagai alasan, seperti bahwa bangunan cagar budaya secara umum telah mengalami; deteriorasi material sehingga memiliki daya dukung struktur yang lebih rendah dari daya dukung rencana. Untuk itu ketika dilakukan tindakan apapun yang sifatnya mengubah atau melepas bagian dari bangunan dapat berpotensi membahayakan bangunan yang berakibat kepada pekerja dan lingkungan sekitar bangunan.

Untuk itu dalam penanganan bangunan cagar budaya, harus memperhatikan pengamanan sebagai berikut:

1. Tindakan pengamanan sementara dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut;
 - a. Kondisi bangunan setelah dikupas dapat membahayakan pekerja maupun bangunan,
 - b. Kondisi bangunan yang terkupas akan mengalami degradasi akibat pengupasan,
 - c. Bersifat melindungi dan tidak mengganggu karakteristik bangunan cagar budaya.
2. Rencana tindakan harus diajukan terlebih dahulu oleh Koordinator Lapangan/ Proyek Manajer kepada Koordinator Teknis Penelitian.
3. Dilengkapi dengan *shop drawing*, dari pelaksana yang telah disetujui oleh koordinator teknis, dengan pertimbangan efisien dan efektif.

FORM 10 : Pengajuan Pekerjaan Pengamanan Sementara

Bangunan : _____

Lantai : _____

Ruang : _____ Kode Ruang : _____

Hari/tanggal : _____ s.d. _____

No.	Item	Volume	Satuan	Harga satuan	Total
1.	Honor/Upah			Rp.	Rp.
2.	Bahan			Rp.	Rp.
3.	Alat			Rp.	Rp.
4.	Lain-lain			Rp.	Rp.
Jumlah					Rp.

Diajukan

Diperiksa

Disetujui

(Projek manajer)

(Koordinator Teknis)

(Koordinator Adm/PPK)

FORM 11 : Rencana Tindak Penanganan sementara

Bangunan : _____

Lantai : _____

Ruang : _____ Kode Ruang : _____

Hari/tanggal : _____ s.d. _____

No.	Rencana Tindak	Kode Lokasi	Volume	Jenis Tindakan	Sumber Daya yang diperlukan
1.	Jenis tindakan yang akan dilaksanakan	Kode lokasi sesuai dengan gambar	Volume pekerjaan	Jenis tindakan 1. Perlakukan langsung pada bangunan 2. Perlakukan tidak langsung	Meliputi : 1. SDM 2. Alat 3. Metoda 4. Biaya 5. Waktu

Diajukan

Diperiksa

Disetujui

(Koord. Teknis)

(Adm. Teknis)

(Koordinator Adm/PPK)

Pernyataan kondisi khusus yang dapat membahayakan dapat dilakukan oleh pekerja yang diajukan kepada pengawas lapangan. Bila pengawas lapangan atau siapapun menolak pernyataan kondisi khusus yang membahayakan pekerja, maka pekerja tersebut berhak menolak untuk melanjutkan sampai dengan dilakukan penyelidikan yang dilakukan oleh tenaga ahli dan menyatakan bahwa pekerjaan tersebut aman untuk dilanjutkan.

Bila dari hasil pemeriksaan dan kajian teknis tersebut ditemukan benar adanya, bahwa ada pekerjaan yang dapat membahayakan bila dilanjutkan, maka pekerjaan tersebut harus dihentikan hingga dibuat rencana penanganan sementara untuk menjaga keselamatan pekerja dan bangunan tidak mengalami kerusakan yang membahayakan pekerja. Setelah dilakukan tindakan penanganan sementara maka pekerjaan dapat dilanjutkan. Proses penanganan harus dituangkan dalam berita acara penanganan sementara, karena kegiatan ini berkonsekuensi pada biaya.

FORM 12 : Berita Acara Rencana Tindak Penanganan sementara

Bangunan : _____
 Lantai : _____
 Ruang : _____ Kode Ruang : _____
 Hari/tanggal : _____ s.d. _____

No.	Rencana Tindak	Kode Lokasi	Volume		Jenis Tindakan	Sumber Daya yang diperlukan
			Rencana	Realisasi		
1.	Jenis tindakan yang akan dilaksanakan	Kode lokasi sesuai dengan gambar	Volume pekerjaan rencana	Volume pekerjaan realisasi	Jenis tindakan 1. Perlakukan langsung pada bangunan 2. Perlakukan tidak langsung	Meliputi : 1. SDM 2. Alat 3. Metoda 4. Biaya 5. Waktu

Diajukan

Diperiksa

Disetujui

(Ketua Tim RTPS)

(Koordinator Lap.)

(Koordinator Teknis)

Seluruh tahapan pekerjaan penanganan sementara harus didokumentasikan sejak permintaan keberatan untuk melanjutkan pekerjaan oleh pekerja, dengan alasan keamanan yang dituangkan dalam dokumen usulan penghentian sementara pekerjaan dengan alasan keselamatan, hingga perencanaan penanganan sementara dan pelaksanaan pekerjaan penanganan sementara yang dilakukan oleh tenaga ahli. Pendokumentasikan dilakukan termasuk tahapan-tahapan pekerjaan dan bukti analisis penanganan sementara pekerjaan tersebut dinyatakan aman bagi bangunan maupun bagi pekerja bangunan.

FORM 13 : Dokumentasi pekerjaan

Bangunan : _____

Lantai : _____

Ruang : _____ Kode Ruang : _____

Hari/tanggal : _____ s.d. _____

No.	Daftar dokumentasi	Kode lokasi	Kode foto/video tindakan		Keterangan
			Sebelum	Sesudah	
1. 2. 3. 4. n.	Susun pendokumentasian berdasarkan urutan pekerjaan, misalnyapembongkaran list plafon, rangka plafon, penutup plafon, dst	Sesuaikan dengan gambar	Lampiran dalam bentuk file digital dan hardcopy, sebelum tindakan	Lampiran dalam bentuk file digital dan hardcopy, sesudah tindakan	Beri penjelasan hal-hal yang berkaitan dengan kondisi bangunan.

Disusun,

disetujui ,

(Koord. Dokumentasi)

(koordinator Lapangan)

Bila bangunan cagar budaya tersebut adalah milik negara maka setiap komponen dan elemen bangunan yang melekat pada bangunan merupakan aset negara, sehingga ketika akan dihilangkan sebagian maka perlu ada catatan dan proses penghapusan yang diatur oleh regulasi terkait dengan Barang Milik Negara (BMN).

FORM 13 : BMN dari bongkaran

Bangunan : _____

Lantai : _____

Ruang : _____ Kode Ruang : _____

Hari/tanggal : _____ s.d. _____

No.	Jenis Bongkaran	Volume	Sat.	Kondisi				Status	
				Baik	%	Buruk	%	Simpan	Buang
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									
n.									

Catatan : agar setiap jenis bongkaran dilengkapi dengan dokumentasi foto

Diajukan

Diperiksa

Disetujui

(Projek manajer)

(Koordinator Teknis)

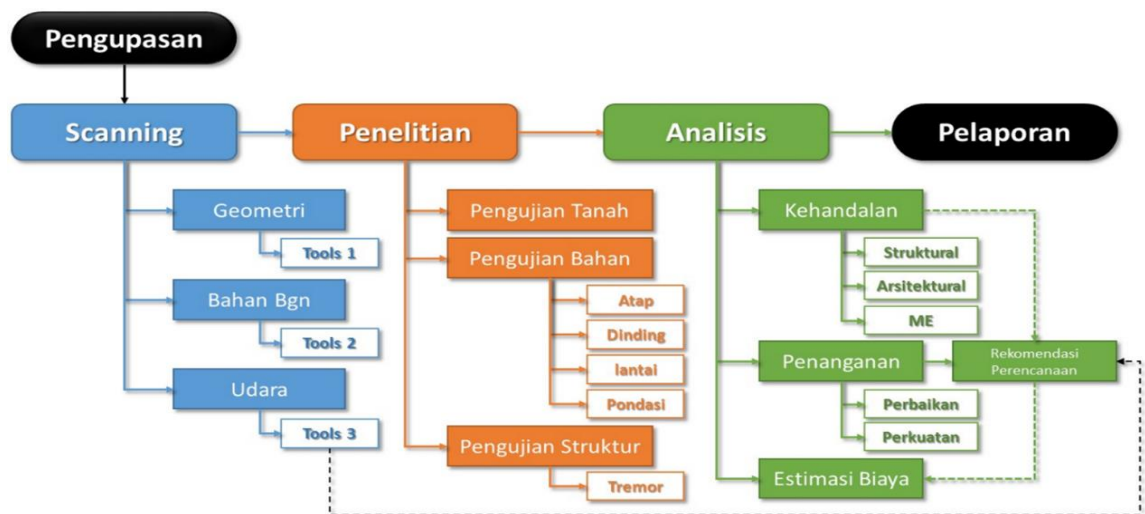
(Koordinator BMN- Kemenkeu)

BAB III. Pemeriksaan Bangunan

Tahapan Pemeriksaan Bangunan

Pemeriksaan bangunan merupakan salah satu kegiatan yang diperlukan dalam kegiatan penanganan bangunan cagar budaya, karena tujuan dari pemugaran bangunan cagar budaya adalah bentuk upaya untuk mempertahankan keberadaan bangunan dengan alasan adanya nilai-nilai tertentu dari bangunan yang harus dipertahankan. Kegiatan pemugaran bangunan cagar budaya dimaksudkan agar kondisi bangunan yang sudah mengalami penurunan kualitas dapat ditingkatkan kembali kepada kondisi semula, khususnya dalam aspek keselamatan bangunan, aspek kesehatan bangunan, aspek kenyamanan bangunan serta aspek kemudahan, dalam hal ini keandalan bangunan dapat tercapai kembali.

Penanganan pemugaran bangunan cagar budaya memiliki titik berat pada identifikasi karakteristik bangunan, selanjutnya pekerjaan ini dinyatakan sebagai pekerjaan *Scanning* untuk mengetahui karakteristik bangunan pada saat ini. *Scanning* dilakukan terhadap karakteristik lingkungan dan bangunan. *Scanning* bangunan diawali dari *Scanning* eksterior dan interior bangunan, yang meliputi identifikasi terhadap geometrik bangunan terhadap perubahan-perubahan bentuk melalui identifikasi ketegakan bangunan, kesikuan bangunan, maupun kemiringan bangunan.



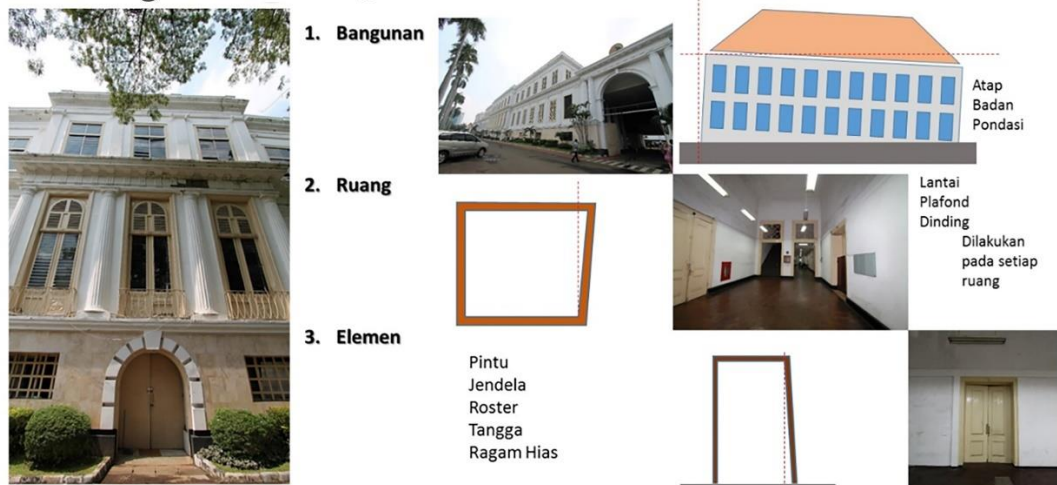
Gambar 3 Tahapan penelitian bangunan gedung

Sebelum dilakukan pemeriksaan bangunan gedung cagar budaya, harus dipastikan bahwa tidak terdapat satu bagian dari komponen maupun elemen dari artefak bangunan yang terhalangi oleh elemen maupun komponen tambahan dari bangunan. Dalam memastikan hal tersebut maka pekerjaan pemugaran bangunan cagar budaya harus diawali oleh pekerjaan pengupasan elemen maupun komponen tambahan.

Pekerjaan pengupasan harus dipastikan tidak mengganggu karakteristik bangunan asli, sehingga dapat mengganggu keselamatan manusia maupun keselamatan bangunan. Dalam pelaksanaan pekerjaan pengupasan, sebagaimana akan diuraikan pada Bab 2 di atas tentang Tata Cara Pengupasan Bangunan Cagar Budaya.

Pekerjaan *scanning* dilakukan setelah semua elemen tambahan tidak lagi menutupi kondisi bangunan asli. *Scanning* dilakukan berdasarkan beberapa tahapan : tahap pertama adalah *scanning* geometrik bangunan baik eksterior maupun interior, selanjutnya *scanning* tahap kedua adalah *scanning* bahan, baik bahan yang bersifat struktural, arsitektural, maupun kelengkapan bangunan (utilitas bangunan), dan *scanning* tahap ketiga adalah *scanning* kualitas udara, yang mencakup suhu, kelembaban, angin, pencahayaan, suara, termasuk kualitas udara di dalam bangunan maupun di luar bangunan termasuk curah hujan yang dapat mempengaruhi umur bangunan.

Scanning Geometrik 3D



Gambar 4 Tahapan scanning geometri bangunan

Patologi bangunan adalah cabang ilmu bangunan yang berkaitan dengan ciri-ciri keadaan kerusakan pada bangunan dan perkembangan kondisi bangunan melalui analisis perubahan fisik bangunan maupun perubahan kimia dari unsur-unsur bahan bangunan, sehingga dapat mengancam keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan kemudahan bagi pengguna bangunan.

Istilah Patologi diadopsi dari istilah yang digunakan pada ilmu kedokteran, yang berkaitan dengan ciri-ciri dan perkembangan penyakit melalui analisis perubahan fungsi atau keadaan bagian tubuh manusia.

Sehingga patologi bangunan dikaitkan dengan jenis-jenis penyakit bangunan, baik itu yang berasal dari bawaan akibat kesalahan perencanaan maupun akibat kesalahan konstruksi, termasuk akibat faktor usia bangunan. Kondisi bangunan yang dinyatakan baik adalah bangunan yang memenuhi persyaratan teknis maupun persyaratan administrasi sehingga dapat difungsikan sesuai dengan kebutuhan. Dalam konteks Undang-Undang Bangunan Gedung No. 28 tahun 2002, kondisi bangunan seperti itu dinyatakan Laik Fungsi.

Patologi Bangunan

Patologi adalah ilmu yang mempelajari penyakit dan bagaimana penyakit tersebut timbul, sehingga patologi bangunan adalah ilmu yang mempelajari penyakit-penyakit pada bangunan serta bagaimana penyakit pada bangunan dapat terjadi. Penyakit pada bangunan umum dinyatakan sebagai kerusakan bangunan, dimana kerusakan bangunan juga ada penyebabnya.

Beberapa hal kerusakan bangunan yang dapat diamati dengan melakukan diagnosa secara bertahap, mulai dari pemeriksaan geometrik bangunan secara keseluruhan, hingga pemeriksaan detail komponen hingga elemen bangunan. Patologi bangunan atau kerusakan dari sisi perubahan bentuk bangunan perlu dilakukan pemeriksaan ketegakan bangunan dari seluruh sisi muka bangunan, dilanjutkan dari sisi penurunan bangunan, apakah terjadi penurunan sebagian atau penurunan secara keseluruhan bangunan, terakhir melakukan pemeriksaan kesikuan bangunan.

Ilmu patologi dapat digunakan untuk membantu tenaga ahli audit bangunan dalam melakukan diagnostik terhadap kerusakan bangunan, hingga mengukur kinerja bangunan dalam menjamin kelaikan fungsi bangunan, sebagaimana diatur dalam Undang-Undang Bangunan Gedung No. 28 Tahun 2002. Ilmu patologi yang berkembang di ilmu kedokteran juga sangat relevan digunakan dalam ilmu bangunan, terutama untuk mengidentifikasi penyebab kerusakan bangunan serta memberikan petunjuk dalam menentukan program penanganan dalam mencegah, memperbaiki dan merawat bangunan cagar budaya.

Kerusakan bangunan secara umum disebabkan juga oleh kondisi bangunan itu sendiri, terutama pada bangunan cagar budaya yang sudah mengalami deteriorasi material. Hal ini diperlihatkan oleh adanya penurunan kualitas bahan bangunan, baik bahan bangunan yang menopang kinerja struktur bangunan, maupun bahan bangunan yang berfungsi sebagai pelengkap bangunan dan bahan bangunan yang digunakan dalam sistem jaringan untuk menunjang utilitas bangunan. Kerusakan dan keausan salah satu bagian dari bahan bangunan dapat mengganggu keseluruhan sistem bangunan, untuk itu bila ditemukan kerusakan pada elemen atau komponen bangunan perlu penanganan perbaikan dengan segera.

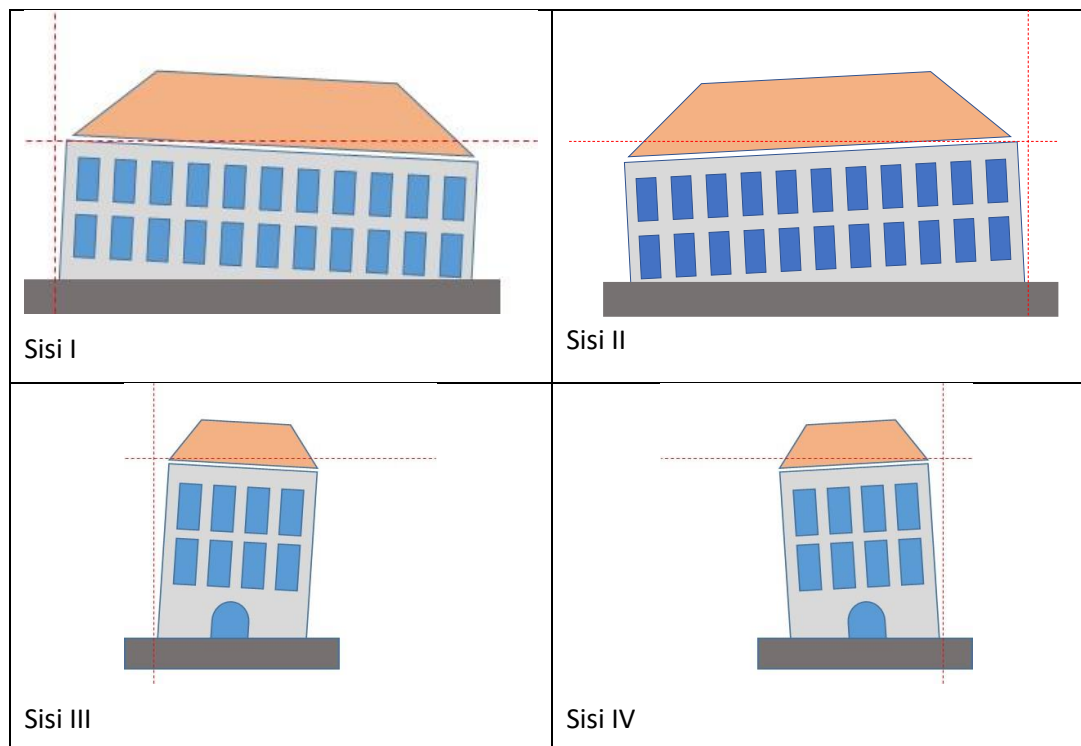
Perubahan Bentuk Eksterior

Bangunan cagar budaya berpotensi mengalami perubahan bentuk yang disebabkan oleh pergerakan tanah, baik pergerakan sebagian maupun pergerakan secara keseluruhan, pergerakan tanah tersebut dapat mengakibatkan perubahan bentuk bangunan.

Ketegakan

Ketegakan bangunan adalah posisi bangunan terhadap permukaan tanah, di mana setiap sisi-sisi bangunan harus tegak lurus terhadap muka tanah, kecuali untuk dinding bangunan yang direncanakan dari awal memiliki kemiringan terhadap permukaan tanah. Ketegakan bangunan diukur dengan ukuran derajat kemiringan terhadap garis vertikal dari ketegakan bangunan, yang dinyatakan dari pergeseran salah satu sudut terhadap garis vertikal dari sudut lainnya, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

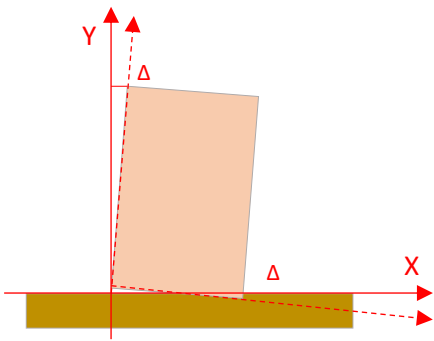
Perubahan ketegakan bangunan bila terjadi pada seluruh sisi dengan maka dapat dipastikan bahwa secara sistem bangunan masih bekerja secara bersamaan (dapat dikatakan integritas bangunan diperkirakan masih dalam keadaan baik), namun dari sisi struktur akan terjadi pergeseran distribusi beban yang tidak merata sesuai dengan perencanaan awal. Bahkan dapat menimbulkan beban momen yang tidak diinginkan atau tidak direncanakan sebelumnya, yang bekerja pada sistem struktur bangunan. Kondisi timbulnya beban-beban baru yang tidak direncanakan yang dapat membahayakan sistem struktur bangunan.



Gambar 5. Bangunan mengalami penurunan secara keseluruhan bangunan

Penurunan bangunan dapat bergerak pada salah satu sisi atau beberapa sisi, bila kemiringan sisi I dan Sisi II memiliki sudut yang sama dan sisi II dan Sisi IV menunjukkan tidak terjadi kemiringan, maka bangunan telah mengalami kemiringan pada satu sisi secara bersamaan artinya kemiringan masih terjadi secara dua dimensi, namun bila kemiringan juga terjadi pada Sisi II dan Sisi IV dengan nilai sudut kemiringan sama maka bangunan telah mengalami kemiringan secara tiga dimensi.

Bila nilai kemiringan yang terjadi hanya satu sisi saja atau ditemukan kemiringan yang terjadi pada setiap sisi dengan nilai sudut kemiringan yang berbeda, maka ada peluang bangunan sudah mengalami retak pada satu sisi atau lebih (khususnya jika bangunan bukan mengalami bentuk deformasi *rigid body motion*). Dalam kondisi ini bahwa telah terjadi penurunan bangunan yang tidak bersamaan dan telah terjadi batasan sistem yang terlampaui, sehingga bisa jadi sistem struktur bangunan secara keseluruhan sudah terganggu dan telah mengalami perubahan.

	Pendataan: Deformasi sebagian/menyeluruh sumbu X Bila deformasi sebagian terjadi, maka pada jarak berapa (Δ) = _____ cm Deformasi sebagian/menyeluruh sumbu Y Bila deformasi sebagian terjadi, maka pada jarak berapa (Δ) = _____ cm Deformasi dinding = _____ ° Deformasi atap = _____ °
--	---

Gambar 6. Form pengukuran kemiringan bangunan

Bila ditemukan adanya perbedaan kemiringan pada sisi-sisi bangunan yang berbeda, maka tahap selanjutnya perlu dicek posisi atau bagian bangunan yang mengalami regangan yang sangat kuat, di mana pada posisi tersebut dapat ditemukan adanya indikasi retak baik pada dinding maupun pada struktur bangunan, hal tersebut dapat dipantau melalui penurunan pada salah satu sisi atau adanya sisi yang naik dari permukaan tanah karena terjungkit.

Penurunan

Penurunan bangunan umumnya disebabkan oleh daya dukung tanah dan rencana pondasi yang tidak sesuai dengan kemampuan pondasi untuk memikul beban di atasnya. Penurunan bangunan juga bisa disebabkan oleh terjadinya penurunan daya dukung tanah, bisa disebabkan adanya pola perilaku perubahan aliran air dalam tanah atau juga adanya pengelolaan air permukaan yang mengganggu dan mengubah karakteristik sebagian tanah di mana bangunan tersebut berdiri.

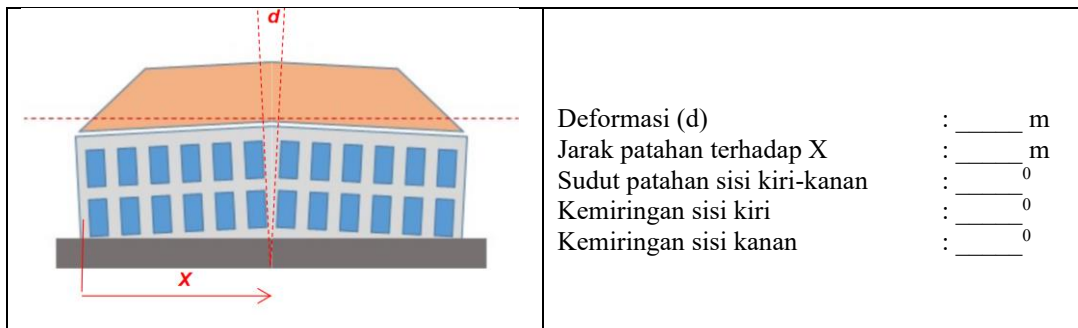
Terjadinya kerusakan bangunan akibat penurunan selain disebabkan oleh faktor daya dukung tanah juga dapat terjadi karena adanya kerusakan pada sistem bangunan, seperti kerusakan pada sebagian balok bangunan dapat mengakibatkan penurunan pada bagian tertentu dari bangunan. Hal ini juga banyak terjadi pada penurunan sebagian atap

bangunan pada bangunan dengan atap miring akibat dari adanya pelapukan pada balok gording atau bagian dari struktur kuda-kuda atap.

Penurunan bangunan pada dua sisi

Penurunan bangunan pada dua sisi dapat mengakibatkan terjadi retakan pada sisi bangunan bagian atas, bila struktur bangunan adalah struktur bangunan dengan sistem rangka maka balok bangunan dapat mengalami patah (dalam kondisi ekstrim tertentu), kondisi bangunan yang mengalami patah pada bagian atas tidak dapat dilakukan perbaikan sebelum dipastikan bahwa proses penurunan yang disebabkan oleh penurunan daya dukung tanah masih terus terjadi.

Salah satu indikasi terjadinya penurunan bagian pada bagian sisi kiri dan kanan atau terdesaknya bangunan pada bagian tengah bangunan akibat adanya pengembangan tanah adalah terjadi kebocoran pada bagian atap bangunan. Hal ini disebabkan oleh terjadinya perpindahan pada rangka kuda-kuda atap, bila mana penutup atap terbuat dari plat beton, maka akan terjadi retakan pada plat beton terlebih dahulu.



Gambar 7. Pendataan penurunan bangunan pada dua sisi bangunan

Kerusakan bangunan dengan pola bangunan terbelah pada bagian tengah banyak disebabkan oleh penurunan tanah pada sisi kiri dan kanan bangunan namun tidak diikuti dengan penurunan tanah pada bagian tengah bangunan, sehingga bagian atas bangunan mengalami gaya tarik. Umumnya terjadi pada bangunan dengan konstruksi *full masonry*, tidak ada ikatan balok pada bagian atas, sehingga mudah retak.

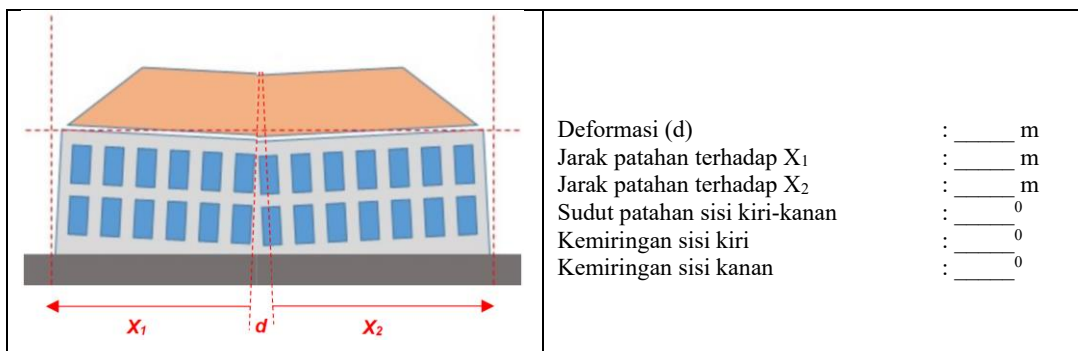


Gambar 8 Retak pada bagian tengah bangunan

Pada perencanaan bangunan-bangunan baru yang memiliki desain bangunan blok terlalu panjang dapat mengakibatkan juga terjadinya retak pada bagian tengah bangunan, salah satu pendekatan yang harus dilakukan adalah dengan memisahkan blok bangunan tersebut menjadi dua atau lebih bagian bangunan dengan memberi dilatasi.

Penurunan pada bagian tengah bangunan

Penurunan bangunan pada bagian tengah tidak hanya disebabkan oleh terjadinya penurunan daya dukung tanah pada bagian tengah bangunan, namun juga dapat disebabkan oleh terjadinya pergeseran tanah yang saling menjauh, hal ini sering terjadi pada daerah di mana bangunan berdiri berdekatan dengan lereng, yang juga merupakan indikasi adanya potensi longsor. Pergerakan tanah mengakibatkan salah satu sisi pondasi bangunan tertarik menjauh dari posisi pondasi pada bagian bangunan lainnya.



Gambar 9. Pendataan pergerakan tanah

Indikasi awal terjadinya pergerakan tanah adalah adanya retakan pada permukaan lantai bangunan, pada umumnya bila lantai bangunan terbuat dari bahan keramik, maka retakan akan tampak pada bagian nat atau siar antar lantai, pada kondisi pergerakan tanah lebih parah maka lantai bangunan juga dapat mengalami retak, yang selanjutnya retak tersebut akan merambat ke arah dinding bangunan.



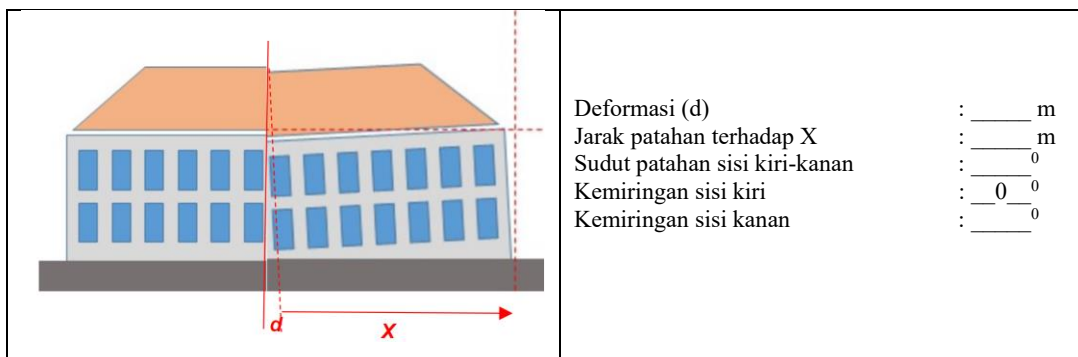
Gambar 10 Retak pada bangunan akibat dari pergerakan tanah

Tindakan perbaikan pada bagian dinding atau lantai yang mengalami retak tidak akan efektif bilamana sumber retak tidak dilakukan perbaikan terlebih dahulu. Sumber retak seperti pergerakan tanah bila pergerakan tanah masih berlangsung maka retak pada lantai maupun dinding akan terus berlanjut. Untuk itu penanganan utamanya adalah perbaikan tanah. Melalui pola retak lantai dan dinding pada bangunan kita juga dapat menemukan pola atau

gejala pergerakan tanah, sehingga penanganan pergerakan tanah dapat dilakukan dengan benar. Bahkan pergerakan tanah dapat membahayakan bagi bangunan dan lingkungan sekitar bila tidak ditangani.

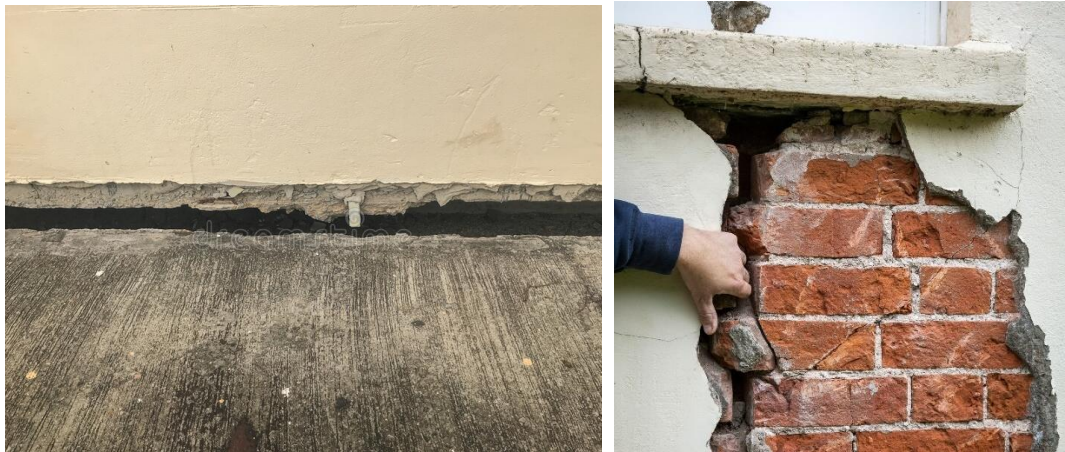
Penurunan satu sisi bangunan

Penurunan satu sisi bangunan dapat juga disebabkan oleh pergerakan tanah pada salah satu sisi bangunan atau juga terjadi penurunan tanah pada sisi bangunan yang mengalami penurunan. Penurunan salah satu sisi yang mengarah ke dalam, sehingga terjadi desakan pada bagian atas bangunan umumnya disebabkan oleh penurunan tanah pada bagian tengah bangunan dan secara bersamaan struktur bawah utamanya sloof dan pondasi tidak mampu memikul beban di atas, sehingga terjadi kerusakan pada bagian pondasi dan sloof terlebih dahulu.



Gambar 11. Pola kerusakan dengan penurunan sebagian bangunan

Indikasi awal terjadinya penurunan sebagian bangunan yang disebabkan oleh penurunan lahan adalah adanya penurunan yang diawali dengan lantai rabat beton di sekeliling bangunan, sehingga tampak adanya celah antara dinding dengan batas lantai di luar bangunan. Pada kondisi yang lebih parah maka akan terjadi juga pada bagian dalam, di mana lantai terutama pada bagian siar atau nat akan terjadi pergeseran ke bawah, sehingga pertemuan antara lantai akan terjadi selisih ketinggian muka lantai. Untuk selanjutnya gejala ini akan meningkat ketika pondasi dan sloof tidak lagi mampu memikul beban di atasnya maka retak akan menjalar ke arah dinding.



Gambar 12 Gejala akibat penurunan tanah (land-subsidence) pada bangunan

Gejala penurunan tanah juga terjadi pada bangunan GOR Bandung Lautan Api yang terletak di Gedebage, Kota Bandung, kerusakan tidak terjadi pada struktur utama karena menggunakan pondasi dalam, sehingga struktur utama yang menopang tribun dan atap tidak terjadi penurunan, namun struktur pendukung yang sifatnya melengkapi untuk menahan teras atau dinding pembagi ruang di bawah tribun, karena menggunakan pondasi dangkal yang berdiri di atas tanah yang mengalami penurunan (*land subsidence*) maka bagian ini mengenali kerusakan termasuk terjadi retakan pada dinding dan lantai.



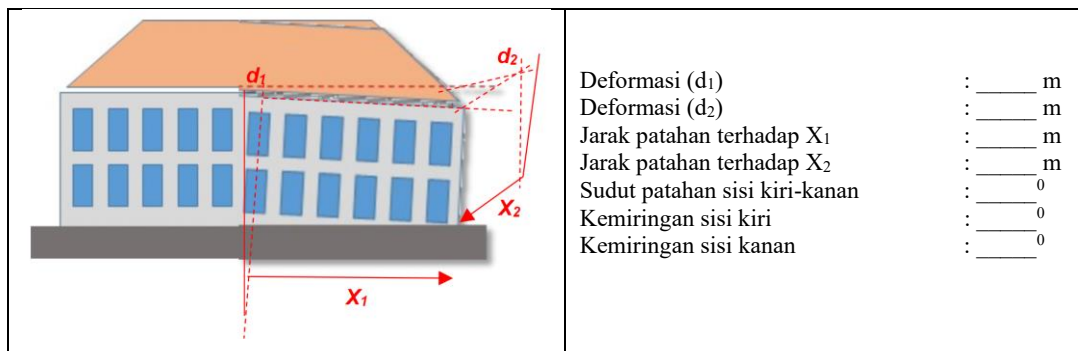
Gambar 13 Kerusakan pada struktur pendukung mengakibatkan pergerakan antara struktur utama dan pendukung tidak bersamaan

Terjadinya penurunan struktur utama dan struktur pendukung yang terjadi secara tidak bersamaan mengakibatkan kerusakan pada komponen arsitektural, seperti lantai terbelah, dinding turun, meskipun tidak mengakibatkan robohnya bangunan utama, akan tetapi tetap dapat membahayakan bagian bangunan dapat mengalami roboh, seperti dinding. Bila dinding roboh maka dapat menimpa pengguna yang dapat saja mencederai bahkan mengancam jiwa.

Penurunan pada satu titik sudut

Penurunan bangunan pada atau satu sudut umumnya disebabkan oleh daya dukung pondasi untuk memikul beban bangunan di atasnya tidak baik, sehingga terjadi penurunan yang dapat mengakibatkan terjadinya patah pada balok dan retak pada dinding yang dapat mengakibatkan keruntuhan pada sebagian bangunan. Bangunan yang mengalami kasus penurunan pada salah satu sudut umumnya terjadi pada bangunan yang berdiri di sebelah lereng yang dengan kondisi yang tidak tidak stabil.

Pergeseran akan terjadi pada dua sisi bangunan yang saling menjauh atau mendekat, atau juga setiap pergeseran titik tersebut salah satu menjauh salah satu sisi mendekat atau memendek. Salah satu tindakan yang harus dilakukan ketika bangunan mengalami hal ini, maka perlu dilakukan perkuatan pondasi atau bila penyebabnya adalah pergeseran tanah maka perlu dilakukan penanganan pergeseran tanah tersebut agar tidak berlanjut. Bila kemiringan sudut akibat terjadi penurunan bangunan maka perlu dilakukan pengosongan bangunan karena sangat membahayakan bagi penggunanya.

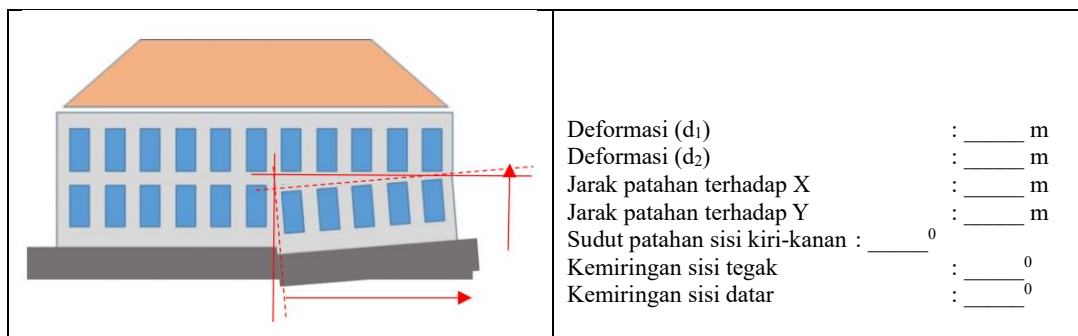


Gambar 14. Penurunan bangunan salah satu sudut bangunan

Parameter yang digunakan untuk mengukur penurunan pada satu sisi bangunan adalah jarak deformasi pada dua sisi sumbu x ke arah memanjang dan ke arah melintang, serta besarnya sudut kemiringan dari dua sisi, bila menggunakan koordinat X, Y, Z, maka perlu diukur deformasi dari ketiga sumbu tersebut.

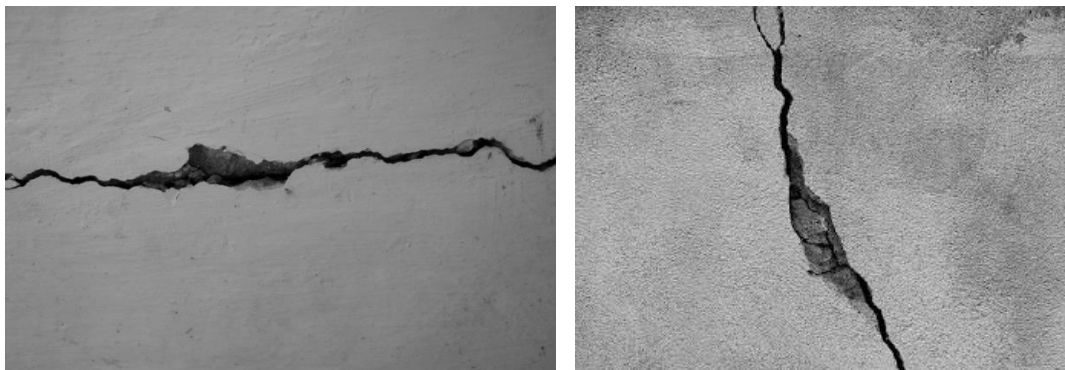
Penurunan sebagian bangunan bawah

Penurunan bangunan dapat juga terjadi pada sebagian bawah bangunan saja, sementara bangunan atas masih utuh bahkan tidak mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan kerusakan terjadi pada sloof dan balok pada bagian bawah sedangkan balok bagian atas masih mampu memikul beban, namun akan terjadi *overload* pada balok yang berada di atas bagian bangunan yang mengalami penurunan, termasuk beban lebih yang terjadi pada balok di atasnya akan didistribuisikan ke kolom bangunan yang memikul balok yang mengalami beban lebih.



Gambar 15 Penurunan sebagian bangunan bawah

Bila ditemukan kondisi bangunan dengan penurunan sebagian, maka perlu dilakukan tindakan dengan menopang balok yang mengalami beban lebih yang tidak direncanakan, sehingga tidak terjadi kelelahan struktur yang dapat mengakibatkan kegagalan yang mengakibatkan bangunan roboh. Penyebab terjadinya penurunan sebagai bangunan adalah daya dukung pondasi yang terletak pada bagian tengah bangunan yang tidak mampu memikul beban di atasnya, dapat disebabkan oleh terjadinya penurunan daya dukung tanah.



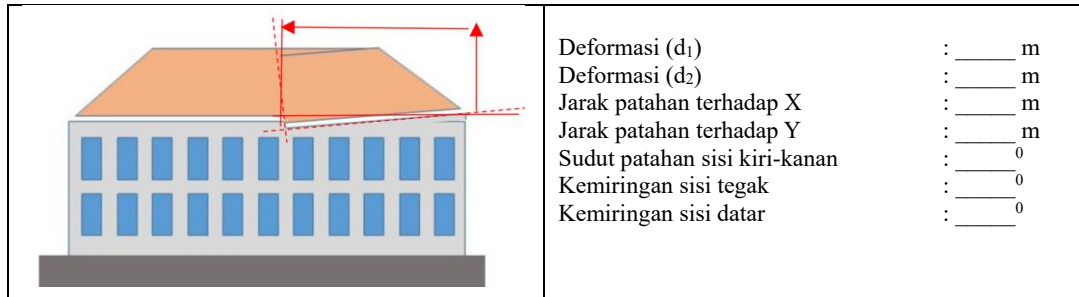
Gambar 16 Pola retak Horizontal dan Vertikal pada bangunan

Gejala kerusakan pada sebagian bangunan bawah adalah terjadinya retak vertikal dan retak horizontal pada bangunan, besarnya retak vertikal juga dapat digunakan sebagai parameter penurunan bangunan. Retak dinding juga diikuti dengan adanya retak pada lantai bangunan serta plafon, namun gejala penurunan pada atap bangunan tidak tampak.

Penurunan sebagian bangunan atas

Penurunan bangunan terjadi pada bagian atas saja, sedangkan bagian bawah tidak mengalami penurunan. Bila gejala penurunan terjadi pada bagian atap dengan tipe atap pelana atau atap perisai, maka dapat dipastikan telah terjadi kerusakan pada struktur rangka kuda-kuda, baik kerusakan karena tumpuan kuda-kuda yang mengalami pelapukan pada kuda-kuda kayu, atau terjadi tekuk pada kuda-kuda dengan konstruksi profil baja.

Bila gejala penurunan terjadi pada bagian atas bangunan dengan atap datar maka perlu dilakukan pengecekan apakah penyebabnya terjadi kerusakan pada kolom sehingga kolom mengalami pemendekan yang diikuti dengan kerusakan balok, dengan gejala yang diikuti dengan retaknya balok secara diagonal, atau gejala kerusakan hanya terjadi pada balok saja.

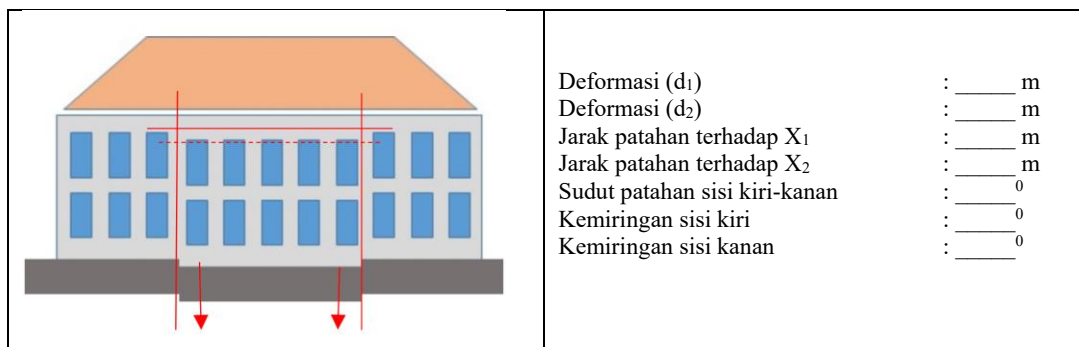


Gambar 17 Penurunan sebagian bangunan pada bagian bangunan atas

Gejala penurunan atap dapat dilihat pada bagian plafon bangunan, karena rangka atap adalah salah satu tempat dimana rangka plafon digantung, sehingga gejala penurunan struktur atap pada tahap awal dapat dilihat dari gejala adanya penurunan plafon pada bangunan bagian atas. Bila penurunan plafon terjadi namun tidak terdapat penurunan atap, maka penyebabnya adalah kerusakan pada bagian penggantung plafon. Kerusakan penggantung plafon lebih banyak disebabkan oleh pelapukan bahan penggantung plafon atau juga disebabkan terlepasnya sambungan penggantung plafon baik pada sambungan dengan rangka atap maupun sambungan dengan rangka plafon.

Penurunan sebagian bangunan tengah

Penurunan bangunan bagian tengah bangunan dengan gejala penurunan bagian tengah secara bersamaan, gejala ini ditunjukkan dengan adanya kerusakan pada dua atau lebih titik sloof yang diikuti dengan retak pada lantai dan dinding bangunan, dimana retak horizontal pada bangunan akan lebih besar dan semakin membesar dibandingkan dengan retak vertikal. Umumnya gejala penurunan bangunan sebagian pada bagian tengah secara bersamaan disebabkan oleh penurunan tanah pada bagian tengah bangunan yang diikuti dengan penurunan beberapa titik pondasi pada bagian tengah bangunan.



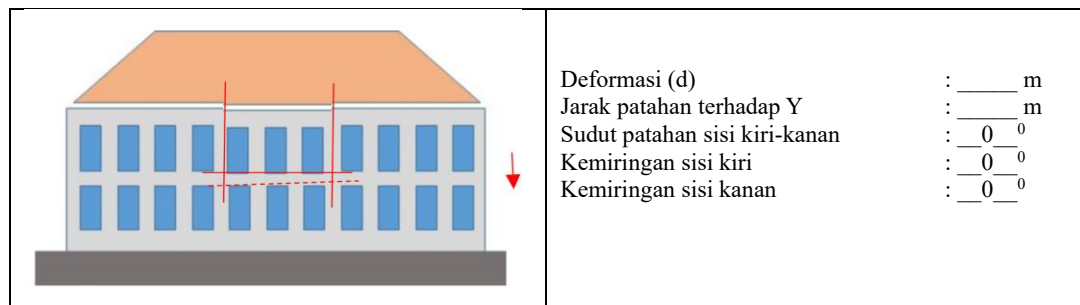
Gambar 18 Penurunan sebagian bangunan tengah

Bentuk kerusakan bangunan sepertinya akan diikuti dengan kerusakan pada beberapa balok bangunan bila struktur bangunan ini bertipe struktur rangka, namun bila bangunan tersebut menggunakan sistem struktur tipe dinding pemikul, maka gejala hanya dapat dilihat dari pola retak dinding saja.

Penurunan sebagian atas bangunan

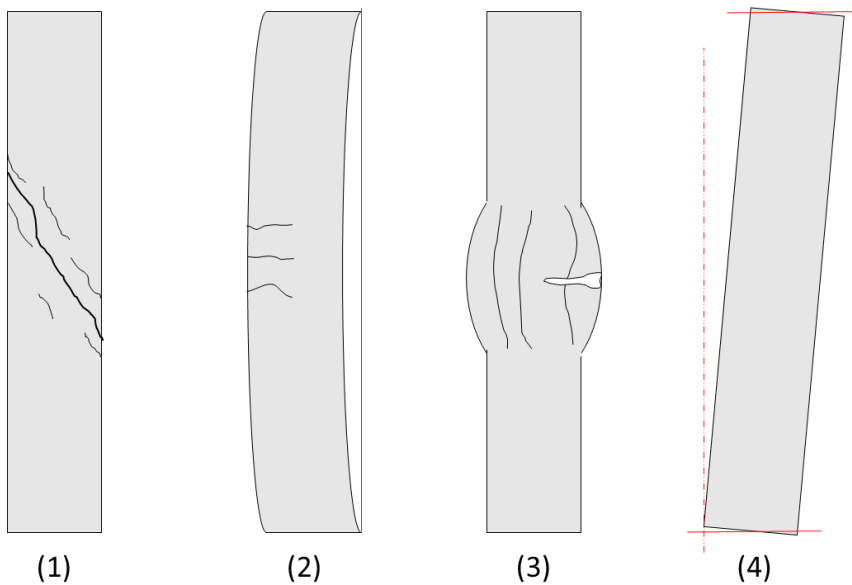
Penurunan bangunan sebagian pada bagian atas secara merata, gejala ini disebabkan oleh adanya kerusakan pada kolom bangunan pada bagian bawah. Kerusakan kolom ini disebabkan oleh adanya beban lebih yang tidak mampu dipikul kolom daya dukung kolom rencana, peristiwa ini dapat terjadi karena adanya perubahan fungsi ruang di atas, yang mengakibatkan beban hidup bertambah. Sebagai contoh ruang dengan fungsi kantor diubah menjadi fungsi ruang arsip dimana beban hidup ruang arsip lebih besar dari beban hidup ruang kerja kantor.

Pola kerusakan bangunan seperti ini tidak disebabkan oleh penurunan pondasi dan daya dukung tanah, namun disebabkan oleh penurunan kinerja kolom dalam mendukung beban di atasnya. Kerusakan pada kolom bangunan dapat mengakibatkan kegagalan bangunan yang fatal, karena dapat mengakibatkan bangunan roboh.



Gambar 19 Penurunan sebagian atas bangunan

Tipe kerusakan pada kolom sangat membahayakan bagi bangunan, kolom harus lebih kuat dari balok, sebagaimana kaidah dalam sistem struktur '*Strong Column, Weak Beam*' pada sistem struktur bangunan rangka. Kerusakan yang sama dapat juga terjadi pada bangunan dengan struktur dinding pemikul pada sistem *masonry*, dimana pada bagian-bagian tertentu berdiri kolom yang terbuat dari susun bata merah (disebut pilaster), seperti pada bangunan AA Maramis I. Terdapat beberapa pola kerusakan kolom yang mengakibatkan terjadinya perubahan geometrik pada bangunan, diantaranya adalah: (1) kolom retak, (2) kolom tertekuk, (3) kolom gembung, dan (4) kolom miring.



Gambar 20 Tipe kerusakan pada kolom

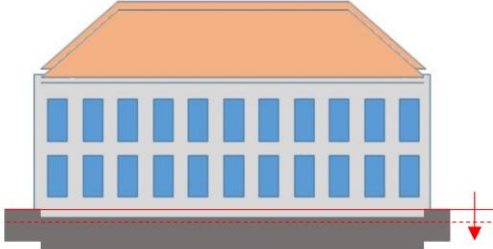
Beberapa faktor penyebab kerusakan kolom selain faktor usia dan beban berlebih di luar rencana serta kualitas pengerjaan yang buruk, juga dapat disebabkan oleh pemilihan bahan bangunan yang tidak sesuai dengan standar. Terjadinya kolom gembung disebabkan juga oleh jarak sengkang yang terlalu jauh (jika kolom tersebut adalah beton bertulang) sedangkan kerusakan kolom miring disebabkan oleh berbagai faktor seperti *overload*, beban lateral eksekutif, penurunan tanah, dll.



Gambar 21 Retakan pada kolom dan dinding

Penurunan Keseluruhan bangunan

Penurunan bangunan secara bersamaan (*uniform*) tanpa diikuti dengan adanya kemiringan bangunan adalah fenomena yang sangat umum dan tidak membahayakan bagi bangunan (selama besar penurunan tidak melebihi batasan penurunan jangka panjang yang tertuang dalam SNI geoteknik), karena secara sistem struktur proses distribusi beban relatif masih merata sesuai dengan rencana. Proses penurunan ini terjadi dikarenakan ada proses pemadatan tanah oleh karena adanya beban baru dari bangunan ataupun bagian dari proses konsolidasi jangka panjang.

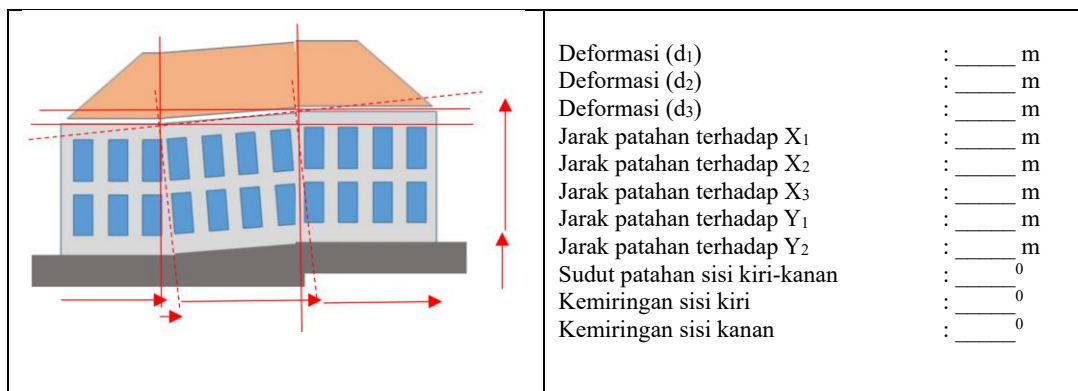
	<table><tr><td>Deformasi (d)</td><td>:</td><td>_____ m</td></tr><tr><td>Jarak patahan terhadap Y</td><td>:</td><td>_____ m</td></tr><tr><td>Sudut patahan sisi kiri-kanan</td><td>:</td><td>_____ 0</td></tr><tr><td>Kemiringan sisi kiri</td><td>:</td><td>_____ 0</td></tr><tr><td>Kemiringan sisi kanan</td><td>:</td><td>_____ 0</td></tr></table>	Deformasi (d)	:	_____ m	Jarak patahan terhadap Y	:	_____ m	Sudut patahan sisi kiri-kanan	:	_____ 0	Kemiringan sisi kiri	:	_____ 0	Kemiringan sisi kanan	:	_____ 0
Deformasi (d)	:	_____ m														
Jarak patahan terhadap Y	:	_____ m														
Sudut patahan sisi kiri-kanan	:	_____ 0														
Kemiringan sisi kiri	:	_____ 0														
Kemiringan sisi kanan	:	_____ 0														

Gambar 22. Penurunan bangunan secara bersamaan

Untuk mengurangi risiko terjadinya penurunan bersamaan pada bangunan, maka pada saat pembangunan harus dipastikan bahwa kondisi tanah di mana bangunan didirikan harus dipastikan kondisi tanah sudah sangat padat dan stabil, juga berada pada tanah keras, karena gejala ini terjadi umumnya pada daerah dengan kondisi tanah lunak, seperti terjadi pada Kawasan Bandung Selatan.

Penurunan pada beberapa bagian

Bila ditemukan pola penurunan yang terjadi secara acak dan bersamaan pada salah satu bangunan, maka kerusakan demikian adalah jenis kerusakan yang paling membahayakan bagi bangunan yang sangat rentan terjadi kegagalan bangunan akibat roboh. Umumnya kondisi bangunan dengan penurunan yang terjadi pada beberapa bagian serta tidak beraturan sebaiknya bangunan tersebut tidak difungsikan dan dilakukan asesmen secara menyeluruh. Jika hasil asesmen mengarah pada rekomendasi pembongkaran bangunan, maka proses pembongkaran bangunan harus dilengkapi dengan Dokumen Rencana Pembongkaran Bangunan yang disahkan oleh pemerintah daerah.

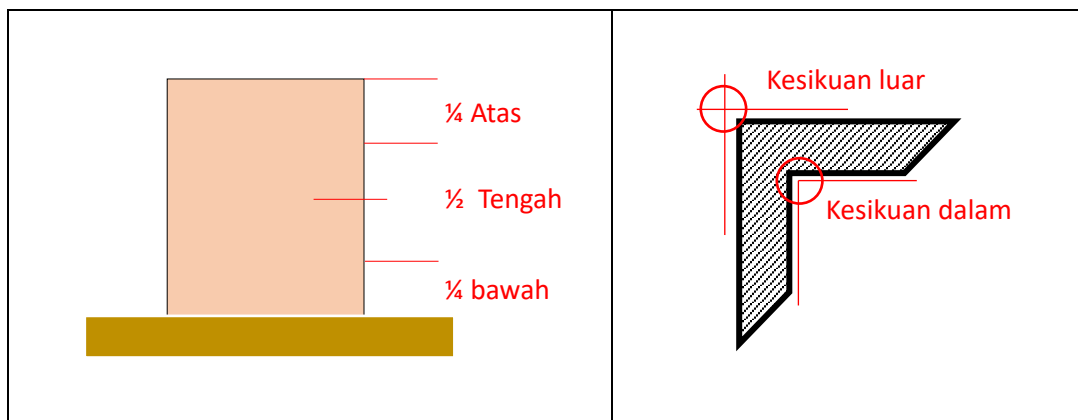


Gambar 23 Penurunan pada beberapa bagian

Kerusakan yang terjadi pada bangunan dengan gejala kerusakan yang tidak beraturan dimungkinkan terjadi akibat berbagai faktor, seperti kondisi tanah, deteriorasi material bangunan akibat usia, kualitas bangunan, pemanfaatan dan pemeliharaan bangunan yang sangat buruk, ataupun akibat kejadian beban eksesif misalnya gempa bumi.

Kesikuan Bangunan

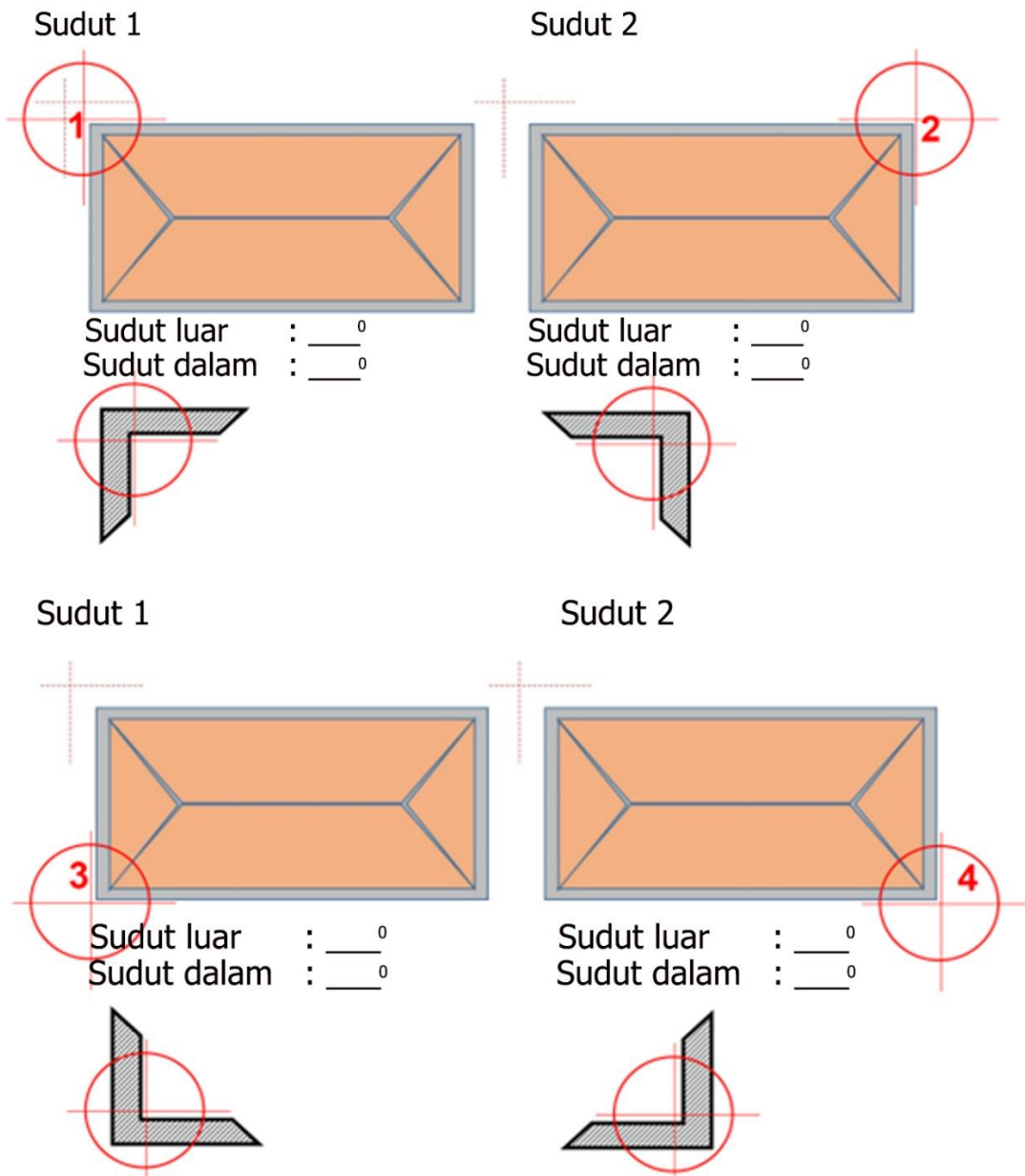
Pemeriksaan kesikuan bangunan dilakukan dua tahap, tahap pertama adalah kesikuan sisi eksterior bangunan, dengan melakukan pemeriksaan kesikuan bangunan pada setiap sudut-sudut bangunan. Pemeriksaan kesikuan bangunan dilakukan pada $\frac{1}{4}$ bagian bawah bangunan, bagian tengah badan bangunan serta $\frac{1}{4}$ bagian atas bangunan, masing-masing dilakukan pada setiap sudut bangunan terluar. Untuk menguatkan kondisi kesikuan bangunan hal, yang sama pengukuran kesikuan bangunan dapat dilakukan juga pada sisi interior bangunan.



Gambar 24 Letak posisi pengukuran kesikuan bangunan

Pemeriksaan dan pengukuran sudut kesikuan bangunan diutamakan dilakukan pada bagian luar, namun bila kondisi tidak memungkinkan maka dapat dilakukan pengukuran pada bagian dalam. Disarankan pengukuran kesikuan dilakukan secara bersamaan pada posisi dengan ketinggian yang mengukur kesikuan bagian luar dan bagian dalam bangunan. Bila sudut bangunan direncanakan dengan besar sudut tertentu tidak 90° , maka pengukuran

kesikuan dimaksud adalah kesesuaian sudut sesuai dengan rencana bangunan. Parameter kesikuan bangunan digunakan untuk melihat deformasi bangunan secara horizontal yang dapat diukur dengan mengetahui adanya informasi kesikuan.



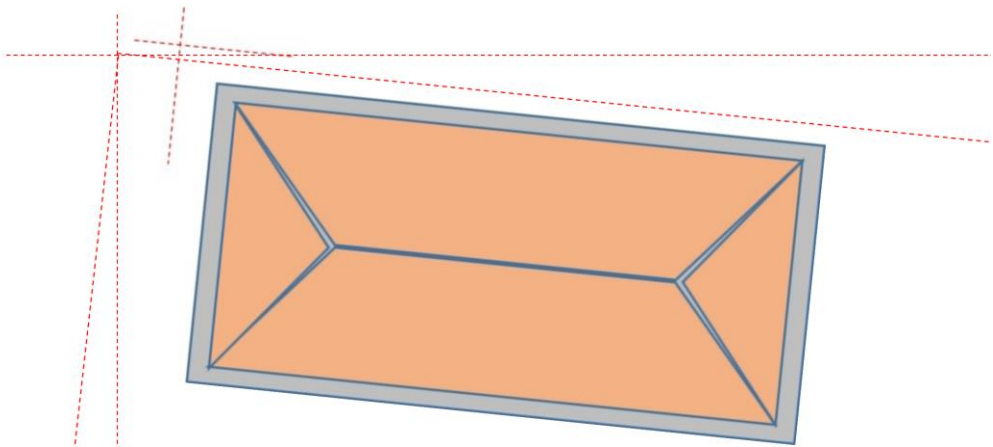
Gambar 25. Pengukuran kesikuan bangunan pada bagian luar dan dalam

Pada tahap ini memastikan bahwa bangunan masih pada kondisi menyiku pada setia sudutnya, bila ditemukan kondisi yang sudah tidak menyiku maka dapat dipastikan telah terjadi kerusakan pada bagian struktur bangunan. Bila ketidaksikuan itu akibat dari kecerobohan pada tahap pengerjaan dan sifatnya hanya arsitektural maka bangunan dapat dinyatakan tidak membahayakan, namun bila ketidaksikuan itu terjadi akibat kecerobohan pelaksanaan yang mengakibatkan ketidakkesikuan terjadi pada struktur bangunan, maka perlu dilakukan analisis ulang terhadap struktur bangunan dengan meninjau pengaruh dari *imperfection*.

Rotasi Bangunan

Pada kondisi tertentu bangunan dapat mengalami perputaran secara horizontal. Hal ini umumnya disebabkan oleh pergerakan tanah pada skala makro maupun pada skala mikro, pada skala makro umumnya ditandai dengan terjadinya retakan pada bagian yang jauh dari bangunan seperti pada bagian jalan di sekitar bangunan atau pada skala mikro, posisi jalan tidak bergeser namun bangunan bergeser. Pada kondisi ini dapat dipantau dengan mengukur posisi bangunan terhadap jalan atau terhadap patok *benchmark* yang menjadi rujukan dalam pembangunan.

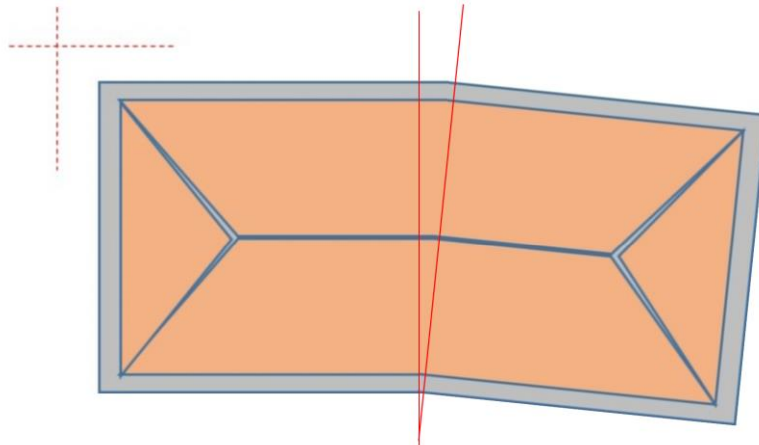
Bila seluruh sudut bangunan 90^0 , maka cek pergerakan bangunan terhadap salah satu sudut bangunan



Perputaran bangunan : (ada/tidak ada), bila ada berapa derajat : _____⁰

Gambar 26 Rotasi bangunan terjadi secara keseluruhan bangunan

Perputaran sebagian bangunan



Perputaran sebagian bangunan : (ada/tidak ada), bila ada berapa derajat : _____⁰

Jarak sumbu X perputaran : _____ m

Gambar 27 Perputaran sebagian massa bangunan

Hasil Pemeriksaan Geometri Bangunan

Kondisi bangunan secara geometris harus dideskripsikan secara menyeluruh melalui satu tabel informasi, sehingga secara umum dapat disimpulkan tingkat keandalan bangunan dari perubahan bentuk yang ada.



Gambar 28 Contoh bangunan yang mengalami perubahan bentuk

Tabel 1. Rekapitulasi perubahan bentuk bangunan

Indikator	Kondisi		Status		Penanganan		Keterangan
	tetap	berubah	aman	bahaya	biasa	khusus	
Ketegakan bangunan							
Kesikuan bangunan							
Penurunan bangunan							
Retakan bangunan							
Rotasi bangunan							

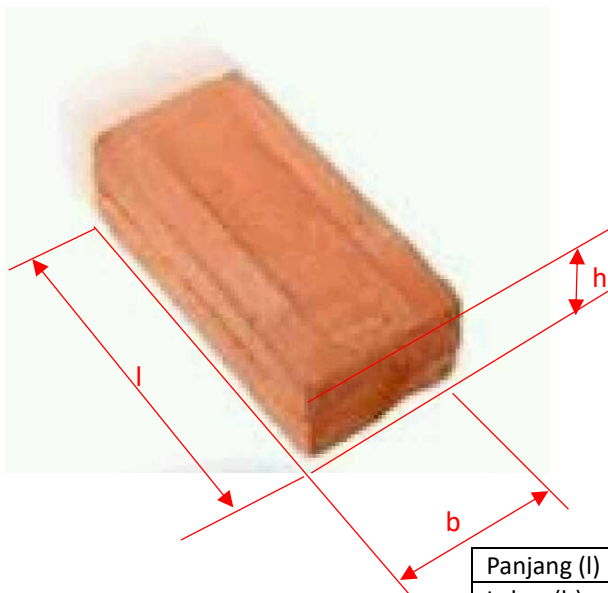
Perubahan bentuk bangunan dari sisi ketegakan, kesikuan, penurunan sebagian atau menyeluruh, retakan serta terjadinya rotasi bangunan baik pada rahan X, Y, maupun Z. Bila secara umum bangunan tidak mengalami perubahan bentuk berdasarkan lima parameter tersebut, maka bangunan masih dapat dinyatakan berada dalam kondisi aman dan baik.

Pemeriksaan Bahan Bangunan

Bata Merah

1 Pengukuran dimensi

Pemeriksaan awal dari bahan bangunan dinding bata adalah dimensi dari setiap elemen bata yang digunakan, yang meliputi ukuran pada arah X, Y dan Z.



Panjang (l)		Cm
Lebar (b)		Cm
Tinggi (h)		Cm

2 Pengukuran berat rata-rata

Setelah ukuran dimensi dari elemen bata, maka tahap berikutnya adalah melakukan pengukuran terhadap berat rata rata bata rata-rata dari setiap elemen, untuk menemukan berat jenis dari jenis bata merah atau komponen bahan dinding lainnya. Berat jenis ini diperlukan juga untuk menghitung kekuatan dari elemen bata serta kekuatan dari

struktur bangunan secara menyeluruh. Adapun untuk menentukan berat rata-rata bata atau elemen bahan dinding bangunan adalah dengan mengacu pada tabel berikut.

Tabel 2. Contoh perhitungan berat rata-rata elemen bata

Sampel	Berat	Kg	Berat setelah direndam air	Kg
Sampel 1	...	Kg	...	Kg
Sampel 2	...	Kg	...	Kg
Sampel n	...	Kg	...	Kg
Rata-rata	Jml.spl/n	Kg	...	Kg

Uji berat setelah direndam dalam air selama 24 jam, berat tidak boleh lebih dari 1/5 berat bata sebelumnya.

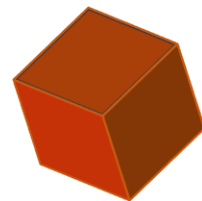
3 Pengukuran kuat tekan

Kuat tekan

Sampel dipotong menjadi kubus dengan ukuran 5cm x 5 cm x 5 cm, atau sesuai dengan SNI

Tabel 3. Contoh tabulasi hasil uji kuat tekan bata

Sampel	Kuat tekan	Kg/cm ²
Sampel 1	...	Kg/cm ²
Sampel 2	...	Kg/cm ²
Sampel n	...	Kg/cm ²
Rata-rata	Jml.spl/n	Kg/cm ²



Setiap elemen bahan bangunan yang akan diuji diberi identitas lokasi sampel bata berasal dari ;

Sumber pengambilan sampel	Jumlah sampel	Kode sampel	Keterangan
(1) Bata pondasi	...		
(2) Bata merah lantai satu		...	
(3) Bata merah lantai dua			...
(4) Bata merah lantai tiga		...	
Total jumlah sampel	...		

Speci pasangan bata

Tipe susunan pasangan (*bond type*) diuraikan dalam bentuk gambar lapis per lapis dari setiap pasangan bata merah pada setiap lantai, mengingat bangunan seperti bangunan cagar budaya AA Maramis memiliki struktur *full masonry*, sehingga setiap kekuatan strukturnya dipikul oleh pasangan bata, sehingga lantai paling bawah pasangan bata akan memikul beban-beban bagian atas sehingga memiliki dimensi yang lebih besar dibandingkan dengan lantai di atasnya. Demikian juga dengan pondasi bangunan yang

tersusun dari pasangan bata, maka kekuatan struktur sangat ditentukan dari kekuatan elemen bata dan elemen spesi dari pasangan bata tersebut.

Pondasi

<i>Lapis 1</i>	<i>Lapis 2</i>	<i>Lapis 3</i>	<i>Lapis 4</i>

Lantai Satu

<i>Lapis 1</i>	<i>Lapis 2</i>	<i>Lapis 3</i>	<i>Lapis 4</i>

Lantai dua dan selanjutnya

<i>Lapis 1</i>	<i>Lapis 2</i>	<i>Lapis 3</i>	<i>Lapis 4</i>

Mengingat untuk bangunan dengan struktur dan konstruksi *full masonry*, maka kekuatan bangunan ditentukan oleh kekuatan dari elemen-elemen bahan bangunan pembentuk bangunan, terutama bahan dinding dan spesi yang mengikat antara pasangan bata merah. Selain itu juga ditentukan oleh bentuk geometri bangunan. Untuk itu pada tahap berikutnya perlu dilakukan identifikasi dari komposisi material spesi.

Pasir	
Kapur	
Bahan lainnya :	

Untuk mengetahui komposisi pembentuk material dari spesi pasangan bata dapat dilakukan dengan metoda pengujian komposisi material dengan metoda SEM, dilakukan di Laboratorium seperti laboratorium Puslitbang Permukiman (saat ini Bintek Permukiman dan Perumahan Ditjen Cipta Karya atau di laboratorium Borobudur).

Tebal spesi

Secara teori ketebalan spesi pasangan bata memiliki tebal spesi/pasangan sambungan bata tidak diperkenankan lebih dari 13 mm. Untuk itu, ketebalan tersebut dapat digunakan untuk inidikator awal dari kekuatan yang dipenuhi oleh bangunan cagar budaya. Namun demikian mengingat tebal dinding bangunan gedung dengan konstruksi *full masonry* dengan ketinggian lebih dari tiga lantai, dapat saja ketebalan spesi lebih dari 13 mm.

Tabel 4. Data ketebalan spesi pasangan dinding

Sampel	Tebal spesi						Keterangan
	Pondasi		Lantai satu		Lantai dua		Lantai tiga
Sampel 1	...						
Sampel 2			...				
Sampel 3					...		
						...	
Sampel n							...
Rata-rata							...

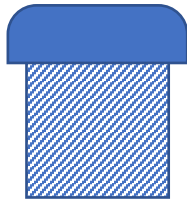
Coping

Coping adalah konstruksi yang berfungsi untuk menutupi bagian atas dari pasangan bata agar tidak terbuka dan sekaligus berfungsi untuk menahan dari resapan air yang dapat menurunkan mutu bahan bata merah maupun spesi, untuk itu pasangan bata ada bagian atas harus ditutup dengan *coping* yang memiliki lebar lebih besar dari lebar pasangan bata yang ditutupinya dengan bagian pada sisi-sisinya diberi tali air, agar air hujan tidak mengalir di dinding bangunan.

Mengingat bagian ini paling banyak diterpa oleh cuaca, maka pada bagian *coping* ini harus diidentifikasi kekuatan atau mutu dari material ini serta menentukan komposisi bahan yang digunakan pada bagian *Coping*.

Pasir	
Kapur	
Bahan lainnya :	

Konstruksi *Coping* dan parapet



Posisi tali air

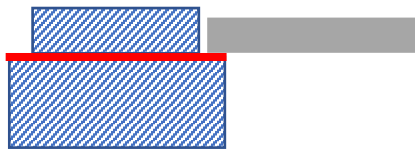
Desain tali air

Damp proofing

Fungsi *damp proofing* adalah untuk mencegah kelembaban yang berasal dari air hujan yang menerpa dinding bangunan maupun yang bergerak merambat dari bagian bawah ke atas bangunan. Secara umum kerusakan yang terjadi pada bangunan cagar budaya dengan sistem *full* \\\ seperti pada Gedung AA Maramis mengalami kerusakan pada balok kayu di sisi tumpuan mengingat pada sisi tersebut merambat air dari bagian luar bangunan maupun dari bawah secara kapiler.

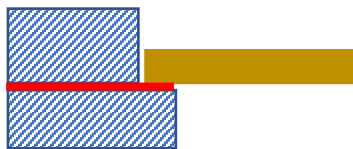
Untuk itu pada sisi perlu dilakukan penambahan penahan kelembaban yang berfungsi untuk menahan agar air tidak mengalir secara kapiler ke bagian bangunan yang memiliki kerentanan terhadap air seperti balok kayu, termasuk juga menjaga terjadinya degradasi pasangan bata merah dan spesinya.

Pondasi lantai Satu



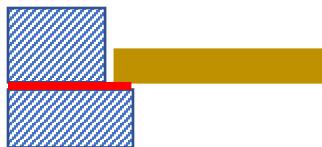
Posisi *damp proofing* :
Komposisi material :

Lantai satu ke lantai dua



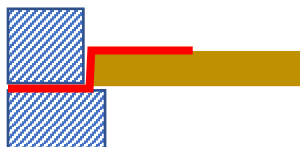
Posisi *damp proofing* :
Komposisi material :

Lantai dua ke lantai tiga



Posisi *damp proofing* :
Komposisi material :

Lantai tiga ke atap



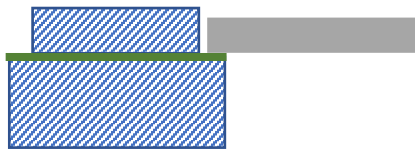
Posisi *damp proofing* :
Komposisi material :

Gambar 29. Penempatan *damp proving* untuk pada bangunan *system masonry*

Termite proofing

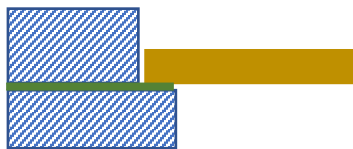
Disamping ancaman terhadap air pada beberapa bangunan dengan sistem *masonry*, karena Sebagian konstruksinya didukung oleh material kayu, maka ancaman kedua dari system ini ada rayap (*termite*). Penempatan *termite proofing* tidak berbeda dengan penempatan *damp proofing*.

Pondasi lantai Satu



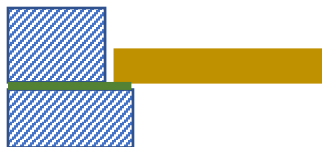
Posisi *termite proofing* :
Komposisi material :

Lantai satu ke lantai dua



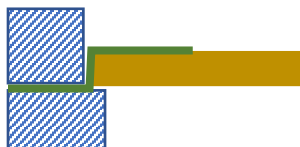
Posisi *termite proofing* :
Komposisi material :

Lantai dua ke lantai tiga



Posisi *termite proofing* :
Komposisi material :

Lantai tiga ke atap



Posisi *termite proofing* :
Komposisi material :

Gambar 30. Penempatan *termite proving*

Perubahan bentuk dapat terjadi akibat kerusakan material kayu yang digunakan pada komponen lantai bangunan, plafon maupun atap bangunan. Perubahan bentuk salah satunya disebabkan oleh gangguan rayap sehingga dapat merusak kekuatan dari elemen-elemen bangunan. Beberapa gejala yang disebabkan oleh kerusakan elemen yang berbasis kayu adalah perubahan bentuk pada lantai, plafon, dan atap.

Plesteran dan acian

Pada bangunan gedung secara umum bagian dinding bangunan yang paling mudah mengalami degradasi adalah bagian dari plesteran baik pada sisi plesteran yang berada pada sisi luar maupun pada sisi dalam. Pada sisi luar, degradasi bisa terjadi lebih banyak karena terpapar oleh langsung cuaca ekstrim dengan gangguan dari alam, seperti paparan matahari, air hujan dan angin. Sedangkan kerusakan pada bagian dalam lebih banyak disebabkan oleh faktor kelembaban. Pemeriksaan plesteran dan acian luar meliputi:

Ketebalan plesteran : _____ cm

Kuat tekan plesteran : _____ Kg/cm²

Komposisi plesteran,

Pasir	
Kapur	
Bahan lainnya :	

Pemeriksaan plesteran dan acian dalam meliputi:

Ketebalan plesteran : _____ cm

Kuat tekan plesteran : _____ Kg/cm²

Komposisi plesteran

Pasir	
Kapur	
Bahan lainnya :	

Seluruh pemeriksaan terkait dengan komposisi pembentuk unsur-unsur dari material plesteran maupun acian dilakukan di laboratorium.

Cat tembok

Komposisi cat dan jenis cat yang digunakan dapat ditelusuri berdasarkan lapisan-lapisan cat yang dilakukan secara kasat mata, atau juga dilakukan di laboratorium.

Komposisi material cat :

Jumlah lapisan cat : _____ lapis

Perkembangan teknologi bahan cat, terutama cat tembok sangat berkembang pesat. Pada periode awal cat tembok lebih banyak menggunakan bahan kapur untuk melindungi pori-pori dinding bangunan. Kegiatan penelitian ini tidak terlalu berperan besar dalam penanganan bangunan cagar budaya, karena untuk meningkatkan *performance* bangunan cagar budaya serta untuk lebih melindungi bangunan, maka cat yang digunakan lebih kepada menggunakan bahan cat baru dengan fungsi melindungi bangunan yang lebih baik.

Bahan Balok Kayu

Bangunan cagar budaya pada periode tertentu yang lebih awal umumnya menggunakan lantai papan dengan konstruksi balok kayu. Umumnya kerusakan terjadi pada balok-balok lantai kayu di bagian tumpuan, karena pada bagian tumpuan ini terjadi dua pertemuan dua material yang memiliki sifat berbeda, tumpuan pada bangunan dengan pasangan dinding bata, maka pada sisi tumpuan ini cenderung menyimpan air atau memiliki tingkat kelembaban tinggi yang berakibat mempengaruhi balok kayu yang menumpu pada dinding

tersebut. Pemeriksaan balok lantai dilakukan ada setiap lantai, pemeriksaan dilakukan untuk mengetahui *performance* bahan balok lantai terhadap:

- 1 Kuat geser
- 2 Kuat tekan
- 3 Elastisitas
- 4 Kuat belah
- 5 Susut axial dan tangensial
- 6 Berat jenis

Tabel 5. Form isian hasil pemeriksaan balok lantai

POSISI BALOK	Kuat Geser	Kuat Tekan	Elastisitas	Kuat belah	Susut axial dan tangensial	Berat jenis

Pemeriksaan dilakukan pada setiap susun dari konstruksi pembalokan lantai bangunan, yang meliputi:

- 1 Balok Induk, yang menumpu pada dua dinding bangunan gedung
- 2 Balok Anak, yang bertumpu pada dua balok Induk

Plafon

Plafon pada bangunan cagar budaya secara umum menggunakan konstruksi rangka kayu yang terdiri dari balok induk dan balok anak. Sedangkan untuk penutup plafon pada bangunan yang lebih lama banyak menggunakan penutup plafon dari bahan lembaran papan kayu solid, dan pada periode yang lebih muda menggunakan bahan lebaran serat fiber.

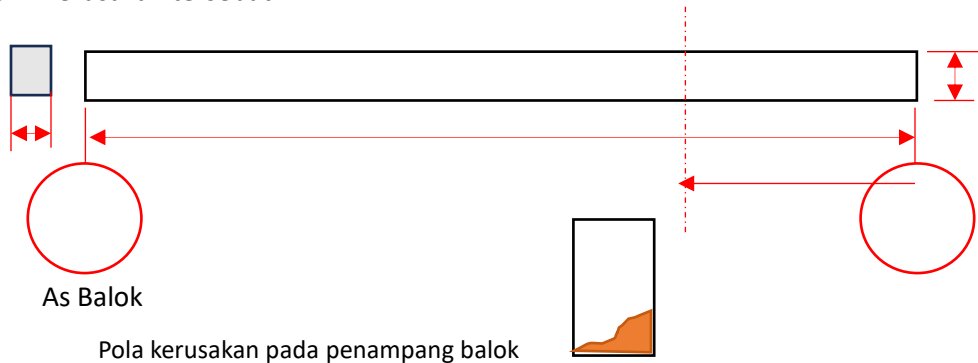
Tabel 6. Form isian hasil pemeriksaan balok lantai

POSISI BALOK	Kuat Geser	Kuat Tekan	Elastisitas	Kuat belah	Susut axial dan tangensial	Berat jenis

Pemeriksaan dilakukan pada setiap susun dari konstruksi pembalokan pada plafon memiliki kesamaan dengan pemeriksaan lantai bangunan, yang meliputi:

- 1 Balok Induk, yang menumpu pada dua dinding bangunan gedung
- 2 Balok Anak, yang bertumpu pada dua balok Induk.

Kondisi setiap balok digambarkan dengan menunjukkan lokasi balok yang dilakukan pemeriksaan, berdasarkan letak balok pada lantai berapa? ruang apa? Posisi as balok berapa? Diberi tanda posisi as bangunan tempat balok bertumbu dan urutan balok nomor berapa, selain itu penampang balok juga digambarkan, bila pada salah satu bagian segmen dari balok terdapat kerusakan, maka gambarkan juga penampang dari balok yang mengalami kerusakan tersebut.



Gambar 31. Pola kerusakan fisik balok tarik

Gambar detail penampang yang mengalami kerusakan dapat dibuat dengan skala yang berbeda, pola kerusakan di atas dapat dibuat pada beberapa bagian penampang bila pada balok terjadi kerusakan yang menyebar. Lengkapi dengan keterangan jarak kerusakan terhadap sisi-sisi balok.

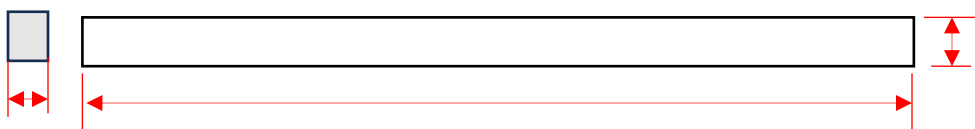
Kuda-kuda

Proses pemeriksaan kerusakan pada konstruksi kuda-kuda haru didukung oleh dokumen gambar yang menunjukkan posisi kuda-kuda dengan menerangkan fungsi dari setiap batang-batangnya, serta melakukan pemeriksaan terhadap detail sambungan pada setiap elemen dari kuda-kuda. Pemeriksaan dilakukan melalui tahapan pemeriksaan pada elemen:

1 Balok tarik

Kuat Geser	Kuat Tekan	Elastisitas	Kuat belah	Susut axial dan tengensial	Berat jenis

Informasi dilengkapi dengan gambar dari balok yang mengalami kerusakan, apakah terjadi kerusakan secara fisik, seperti menggambarkan pola retak pada balok, bagian yang mengalami pelapukan, serta informasi dimensi dari balok tarik



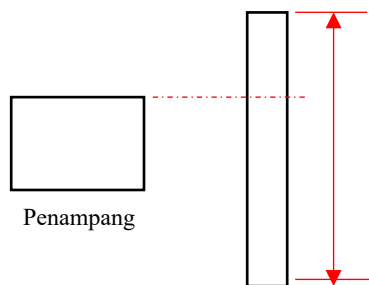
Gambar 32. Pola kerusakan fisik balok tarik

Sama halnya dengan kerusakan pada balok tarik, maka harus juga digambarkan pada bagian mana kerusakan balok tersebut terjadi, dan kerusakan tersebut juga harus dilengkapi dengan gambar penampang balok yang mengalami kerusakan.

2 Balok makelar

Kuat Geser	Kuat Tekan	Elastisitas	Kuat belah	Susut axial dan tengensial	Berat jenis

Informasi kerusakan dari balok makelar digambarkan pada bagian-bagian mana saja yang mengalami kerusakan, serta dimensi dan posisi dari balok makelar pada kuda-kuda yang mana kerusakan terjadi.



Gambar 33. Pola kerusakan balok makelar

3 Balok skur

Kuat Geser	Kuat Tekan	Elastisitas	Kuat belah	Susut axial dan tengensial	Berat jenis

Informasi yang sama pada balok skur juga mengikuti penjelasan sebagaimana balok makelar maupun balok tarik, dan seluruh bagian dari balok dijelaskan dengan cara yang sama.

4 Balok kaki kuda-kuda

Kuat Geser	Kuat Tekan	Elastisitas	Kuat belah	Susut axial dan tengensial	Berat jenis

5 Balok gording

Kuat Geser	Kuat Tekan	Elastisitas	Kuat belah	Susut axial dan tengensial	Berat jenis

Fungsi dari balok gording lebih kepada fungsi elemen utama yang menjadi dukungan dari penutup atap. Balok gording akan menumpu pada kuda-kuda dan memiliki jarak tertentu antara setiap balok gording, jarak gording ditentukan oleh dimensi dari balok usuk, sedangkan dimensi dari balok gording ditentukan oleh jarak kuda-kuda serta beban penutup atap dan rangkaian elemen di atas balok gording, seperti beban usuk reng dan penutup atap.

6 Balok usuk

Kuat Geser	Kuat Tekan	Elastisitas	Kuat belah	Susut axial dan tengensial	Berat jenis

Konstruksi balok usuk pada konstruksi atap bisa saja tidak diperlukan bila bahan penutup atap berupa bahan lembaran, baik dari bahan metal, lebaran serat fiber, maupun bahan-bahan lainnya.

7 Balok reng

Kuat Geser	Kuat Tekan	Elastisitas	Kuat belah	Susut axial dan tengensial	Berat jenis

Jarak reng ditentukan oleh bahan penutup jenis atap. Pada kasus bangunan gedung cagar budaya AA Maramis, berdasarkan dokumentasi awal dari foto-foto yang ditemukan, terbuat dari bahan metal (seng). Atap seng tersebut telah mengalami penggantian menjadi bahan genteng beton, sehingga beban penutup atap menjadi lebih berat dari beban penutup atap sebelumnya.

Perubahan bahan penutup atap sangat dimungkinkan dalam penanganan bangunan cagar budaya, namun harus diperhitungkan bahwa bahan penutup atap pengganti harus memiliki beban yang tidak lebih besar dari bahan penutup atap sebelumnya, karena pengaruhnya akan menjadi beban tambahan bagi struktur bangunan yang berada di bawahnya.

8 Balok ikat angin

Kuat Geser	Kuat Tekan	Elastisitas	Kuat belah	Susut axial dan tengensial	Berat jenis

Balok ikat angin berfungsi untuk menahan beban horizontal yang disebabkan oleh gaya angin, termasuk gaya gempa. Untuk itu keberadaan ikat angin menjadi elemen penting dalam konstruksi kuda-kuda untuk menahan gaya geser, untuk itu posisi balok ikat angin dibuat diagonal melintang antar kuda-kuda secara bersilangan.

Papan lantai bangunan

Lantai pada bangunan-bangunan cagar budaya selain bahan dak beton juga banyak ditemukan dengan bahan penutup lantai bangunan dari lembaran papan kayu solid. Pemeriksaan bahan lantai papan dilakukan setiap lantai dan digambarkan posisi kerusakan pada sisi yang mana kerusakan tersebut terjadi.

Kuat Geser	Kuat Tekan	Elastisitas	Kuat belah	Susut raial dan tengensial	Berat jenis

Setelah melakukan pemeriksaan pada setiap elemen papan dari lantai bangunan, maka pada setiap ruang dan setiap lantai digambarkan kerusakan fisik maupun kerusakan kimia dari elemen papan pembentuk lantai. Secara umum kerusakan pada setiap papan akan membentuk kerusakan yang sama pada zona dari setiap ruang maupun setiap lantai bangunan, hal ini dikarenakan faktor penyebabnya memiliki kesamaan, seperti berdekatan dengan tepi bangunan, berdekatan dengan zona basah, dsb.



Gambar 34. Contoh lantai ruang bangunan yang mengalami kerusakan

Kerusakan pada lantai bangunan digambarkan dengan petunjuk zona yang diberi warna, baik pada kerusakan material secara kimia maupun kerusakan secara fisik. Kerusakan pada bagian penutup lantai dapat juga mengakibatkan atau sebagai petunjuk adanya kerusakan pada bagian balok yang menjadi tumpuan dari papan lantai.

Papan Plafon

Kerusakan papan plafon banyak disebabkan oleh kerusakan balok induk dan atau balok anak rangka plafon, termasuk penggantung rangka plafon. Gejala kerusakan dapat diidentifikasi melalui perubahan bentuk serta perubahan pada permukaan plafon. Selain itu kerusakan plafon juga disebabkan oleh hama perusak kayu seperti rayap.

Kayu Kusen

1 Kusen Pintu

Kusen pintu pada bangunan cagar budaya secara umum banyak menggunakan bahan bangun dari balok kayu dan papan kayu yang dikombinasikan, dengan dimensi yang cukup besar untuk ukuran kusen pintu pada bangunan saat ini. Umumnya kerusakan kusen kayu disebabkan oleh serangga seperti rayap dan bubuk.

Dari aspek fisik, kerusakan juga banyak terjadi pada bagian engsel pintu, bagian ini bekerja paling tinggi, akibat buka tutup pintu, sehingga bagian engsel mengalami kelelahan. Selain itu beban pintu yang dipikul oleh skrup engsel dengan kondisi kayu yang mengalami degradasi juga merupakan bagian yang paling besar terhadap kerusakan pada bagian ini.

2 Jendela

Jendela sama halnya dengan kusen pintu, kerusakan secara umum berada pada bagian engsel jendela selain kerusakan akibat terjadinya degradasi material rangka kusen kayu, akibat lebih sering terpapar oleh perubahan cuaca di luar bangun. Selain itu pada sistem sambungan antara kusen dengan dinding, yang mengakibatkan air hujan masuk menjadikan kusen kayu mudah mengalami pelapukan.

3 Daun jendela

Kerusakan daun pintu banyak terjadi pada bagian engsel, seperti halnya rangka kusen, karena bagian yang paling banyak bekerja akibat buka tutup pintu, serta kerusakan juga banyak terjadi pada bagian *handle* pintu.

4 Daun pintu

Kerusakan yang terjadi pada daun jendela, selain kerusakan pada bagian engsel jendela juga pada bagian sambungan dari bagian-bagian elemen daun jendela, karena pada bagian ini, secara umum tidak tertutup oleh cat untuk melindungi penampang bagian dari daun jendela, sehingga air hujan mudah masuk. Retakan cat pada sambungan jendela selalu terjadi. Selain daun jendela hal sama juga terjadi pada daun pintu yang terletak atau berhubungan dengan bagian eksterior.

Kayu Tangga

Bangunan cagar budaya memiliki tangga sebagai sarana penghubung antara lantai bangunan atau untuk menghubungkan antar lantai bangunan yang berbeda ketinggian. Bagian-bagian yang banyak mengalami kerusakan pada bagian tangga bangunan adalah:

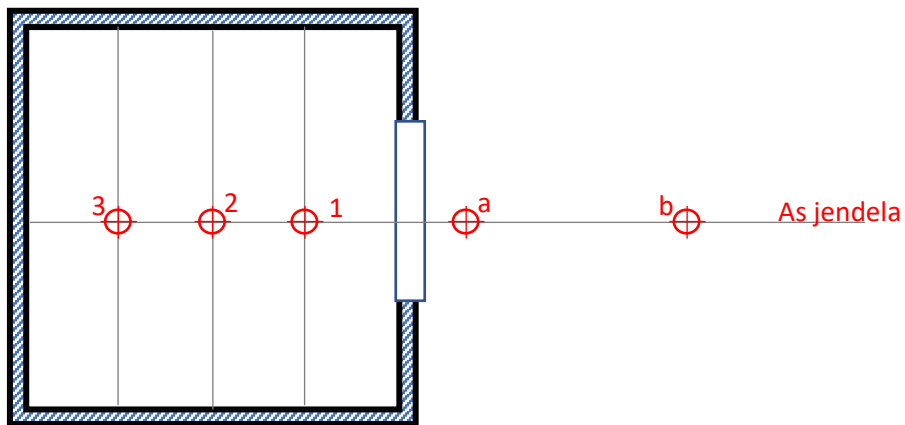
1. Papan anak tangga, bagian injakan tangga banyak mengalami kerusakan akibat tergerus oleh pergerakan kaki dan beban pergerakan yang ada di atasnya, sehingga permukaan lantai anak tangga (injakan)
2. Balok tangga, pada balok tangga dengan konstruksi kayu umumnya disebabkan oleh serangga dan kelelahan material serta kerusakan yang disebabkan oleh adanya tingkat kelembaban yang terlalu tinggi.
3. *Handrail*, bagian ini kerusakan lebih banyak terjadi hanya pada bagian permukaan cat atau lapisan pelindung dari *handrail*.
4. Tiang *handrail*, pada bagian tiang-tiang *handrail* kerusakan umumnya terjadi pada bagian sambungan antara bagian *handrail* dengan tiang dan tiang dengan balok tangga, akibat banyak menahan beban dari pengguna tangga.

Pemeriksaan Udara

Penelitian Kualitas Udara

Kajian kualitas udara di dalam bangunan merupakan upaya identifikasi untuk memantau seberapa jauh efek udara seperti kelembaban dalam ruangan, kecepatan angin dalam ruangan serta suhu dalam ruang yang dapat mempengaruhi kualitas material di dalam bangunan. Ruang dalam bangunan bila memiliki kelembaban yang sangat tinggi dapat mengakibatkan terjadinya pelapukan pada bagian-bagian dinding, sehingga dinding bangunan pada bagian plesteran maupun spesi pasangan dan pasangan bata dapat mengalami pelapukan yang lebih cepat. Untuk itu kualitas udara dalam bangunan harus dipantau.

Menetapkan lokasi Pengukuran serta jenis pengukuran yang harus diukur:



Lokasi pengukuran

1. $\frac{1}{4}$ jarak dari lebar ruang : _____ m
2. $\frac{1}{2}$ jarak dari lebar ruang : _____ m
3. $\frac{3}{4}$ jarak dari lebar ruang : _____ m
- a. Eksterior bayangan : _____ m
- b. Eksterior tdk ada bayangan: _____ m

PARAMETER 8:00

12:00

16:00

1. Suhu

- a. Indoor : _____ °C _____ °C _____ °C
- b. Outdoor : _____ °C _____ °C _____ °C

2. Kelembapan

- a. Indoor : _____ % _____ % _____ %
- b. Outdoor : _____ % _____ % _____ %

3. Angin

- a. Indoor : _____ m/s _____ m/s _____ m/s
 b. Outdoor : _____ m/s _____ m/s _____ m/s

4. Cahaya

- a. Indoor : _____ lux _____ lux _____ lux
 b. Outdoor : _____ lux _____ lux _____ lux

5. Suara

- a. Indoor : _____ desibel _____ desibel _____ desibel
 b. Outdoor : _____ desibel _____ desibel _____ desibel

Curah Hujan

BULAN	Volume
1. Januari	
2. Februari	
3. Maret	
4. April	
5. Mei	
6. Juni	
7. Juli	
8. Agustus	
9. September	
10. Oktober	
11. Nopember	
12. Desember	

Pengujian Struktur Bangunan

Standar Teknis Pengujian Material

Daftar SNI Pengujian Bahan Bangunan

No. SNI	Judul	Ruang lingkup
06-6452-2000	Metode Pengujian Cat bitumen sebagai lapis pelindung	Metode ini meliputi prosedur pengambilan contoh uji dan prosedur pengujian cat emulsi bitumen yang digunakan sebagai cat pelindung dengan ketebalan yang cukup pada logam dan penutup atap.
03-4165- 1996	Metode pengujian kuat lentur dinding pasangan bata merah di laboratorium	Metode pengujian ini membahas ketentuan dan cara pengujian kuat lentur dinding pasangan bata yang tidak diplesir untuk dinding struktural.
03-4166- 1996	Metode pengujian kuat geser dinding pasangan bata merah di laboratorium	Metode pengujian ini membahas ketentuan dan cara pengujian kuat geser horisontal dan kuat geser diagonal dinding pasangan bata merah yang tidak diplesir untuk dinding struktural.
03-4164- 1996	Metode pengujian kuat tekan dinding pasangan bata merah di laboratorium	Metode pengujian ini membahas ketentuan dan cara pengujian kuat tekan dinding pasangan bata merah yang tidak diplesir untuk dinding struktural.
07-2529-1991	Metode Pengujian kuat Tarik Baja Beton	Metode ini meliputi persyaratan-persyaratan, ketentuan, dan cara pengujian serta laporan hasil uji
03-6851-2002	Metode Pengujian Lentur Panel Kayu Struktural	Metode ini menentukan sifat lentur potongan panel atau panel struktural yang berukuran sapaai dengan (122x244)cm ² . Panel struktural yang digunakan meliputi kayu lapis, papan lapis, papan serat teratur, venir koposit dan lapisan kayu. Metode pengujian ini meliputi : - metode A-Uji lentur beban satu titik - metode B-Uji lentur beban dua titik - metode C-Uji momen murni

		Pemilihan metode ditentukan oleh tujuan pengujian, tipe bahan dan peralatan yang tersedia. Seluruh metode dapat dipakai pada bahan yang mempunyai sifat kekuatan dan kekakuan relatif sama. Hanya metode C yang digunakan untuk uji bahan yang diperkirakan mempunyai kekuatan dan kekakuan panel yang bervariasi disebabkan oleh perbedaan berat jenis, mata kayu, daerah penyimpangan arah serat kayu, serangan jamur atau variasi pertumbuhan lebar. Metode B dapat digunakan untuk mengevaluasi ciri-ciri tertentu seperti celah inti dan sambungan veneer dalam panel kayu lapis dimana pengaruhnya cepat terproyeksi pada seluruh panel. Metode C umumnya dipilih jika ukuran bahan uji sesuai dengan yang diijinkan. Momen yang ditetapkan pada benda uji sampai hancur dengan metode uji A atau B dimana lendutan yang besar terjadi, boleh lebih besar dari pada momen nominal. Pendekatan koreksi perkiraan dapat dilakukan.
03-6847-2002	Metode Pengujian Berat Jenis Kayu dan bahan dari kayu dengan cara pencelupan dalam air	Metode pengujian berat jenis kayu dan bahan dari kayu dengan cara pencelupan dalam air ini mencakup ketentuan-ketentuan yang harus dipenuhi baik secara umum maupun teknis serta prosedur/cara pengujian berat jenis yang dilakukan dengan cara mengukur volume dengan ketelitian hingga benda uji yang berbentuk tidak teratur atau permukaannya kasar dengan cara pencelupan dalam air.
03-3960-1995	Metode Pengujian modulus elastisitas lentur kayu di laboratorium	Metode pengujian ini mencakup tentang persyaratan, ketentuan, dan cara pengujian kayu, dengan benda uji kecil bebas cacat untuk jenis kayu kering udara.
03-6845-2002	Metode Pengujian berat kayu dan bahan dari kayu dengan cara pencelupan dalam air raksa	Metode pengujian berat jenis kayu dan bahan dari kayu melalui volume dengan cara pencelupan dalam air raksa ini mencakup ketentuan yang harus dipenuhi baik secara umum maupun teknis serta prosedur/cara pengujian berat jenis yang dilakukan dengan cara mengukur volumen berbagai bentuk benda uji, kerapatan maupun kadar airnya.

03-3975-1995	Metode Pengujian kuat lentur kayu konstruksi berukuran struktural	Metode pengujian ini mencakup persyaratan, ketentuan, cara pengujian dan pelaporan pengujian semua jenis kayu konstruksi berukuran struktural kering udara dan tidak bebas cacat termasuk balok kayu berlapis majemuk
03-3974-1995	Metode Pengujian modulus geser kayu konstruksi berukuran struktural	Metode pengujian ini mencakup persyaratan, cara pengujian dan pelaporan pengujian, untuk semua jenis kayu berukuran struktural kering udara, balok kayu berlapis majemuk glula dan balok kayu komposit, yang bebas atau tidak bebas cacat. Nilai elastisitas modulus geser, G , ditetapkan berdasarkan nilai modulus elastisitas lentur murni, E_M , dan modulus elastisitas semu, E_{app} , dari batang benda uji yang sama, seperti dinyatakan dalam ayat 3.1.3 persamaan 5
03-3973-1995	Metode Pengujian modulus elastisitas tekan dan kuat sejajar serat kayu konstruksi berukuran struktural	Metode pengujian ini mencakup persyaratan, ketentuan, cara pengujian dan pelaporan pengujian semua jenis kayu konstruksi berukuran struktural kering udara dan tidak bebas cacat.
03-6848-2002	Metode Pengujian Berat jenis batang kayu dan kayu struktur bangunan	Metode pengujian ini mencakup ketentuan-ketentuan yang harus dipenuhi baik secara umum maupun teknis serta cara pengujian berat jenis yang dilakukan dengan cara mengebor atau melubangi bagian struktur dari kayu yang sulit dilakukan dengan cara konvensional dengan perhitungan berdasarkan berat kering oven dan volume pada saat pengujian.
03-6846-2002	Metoda Pengujian berat jenis kayu dan bahan dari kayu dengan tabung pengabang	Metode pengujian berat jenis kayu dan bahan dari kayu dengan tabung pengabang ini mencakup ketentuan-ketentuan yang harus dipenuhi baik secara umum maupun teknis serta cara pengujian perkiraan berat jenis yang dilakukan dengan mengukur secara cepat berat jenis benda uji yang berbentuk memanjang dengan penampang melintang yang seragam dan diketahui kadar airnya; berat jenis ditentukan berdasarkan berat kering.

03-6843-2002	Metode Pengujian susut radial dan tangensial kayu di laboratorium	Pengujian susut arah radial dan tangensial kayu ini mencakup ketentuan dan cara susut arah radial dan tangensial, dengan benda uji kecil bebas cacat untuk jenis kayu kering udara dan hasilnya digunakan oleh perencana
03-6841-2002	Metode Pengujian Kuat belah kayu di laboratorium	Pengujian kuat belah kayu ini mencakup ketentuan dan cara uji belah kayu tegak lurus serat, dengan benda uji bebas cacat untuk jenis kayu kering udara dan hasilnya digunakan oleh perencana.
03-3972-1995	Metode Pengujian modulus elastisitas lentur kayu konstruksi berukuran struktural	Metode pengujian ini mencakup persyaratan, ketentuan, cara pengujian dan pelaporan pengujian kayu, untuk semua jenis kayu berukuran struktural kering udara dan tidak bebas cacat, balok kayu berlapis majemuk dan balok kayu koposit.

Pelaksanaan Pemeriksaan

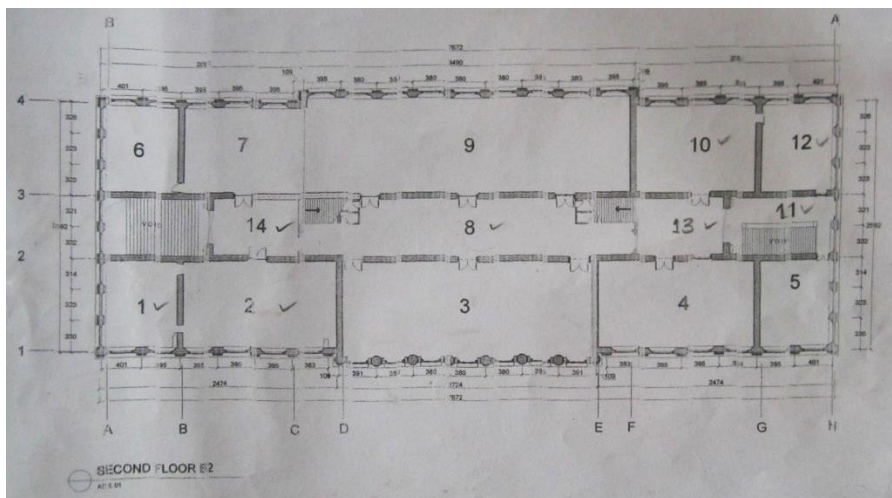
Ruang lingkup pelaksanaan pemeriksaan bangunan meliputi :

- 1 *Scanning* eksterior
- 2 *Scanning* interior

Persiapan

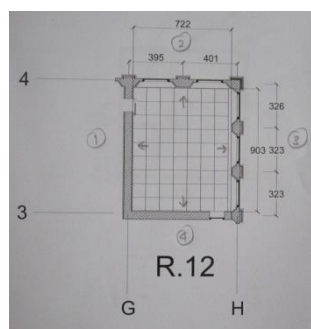
Sebelum melakukan *scanning* interior, terlebih dahulu siapkan denah lantai yang telah diberi kode ruangan.

Contoh :



Untuk memudahkan pelaksanaan *scanning* di lapangan, masing-masing ruangan yang akan discanning disiapkan *printout* layout yang telah diberi grid per 1m. Contoh dari *printout* layout yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

1. Denah lantai
2. Denah plafon
3. Denah ruangan
4. Layout dinding 1
5. Layout dinding 2
6. Layout dinding 3
7. Layout dinding 4



Standar notasi warna sangat diperlukan karena dapat mempermudah rekapitulasi hasil *scanning*. Standar notasi warna yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Merah (garis&arsir) : adanya coak / acian yang terkelupas
2. Hitam (garis&arsir) : adanya bagian yang berlubang

3. Biru (garis) : adanya retak (diberi keterangan retak tembus / retak rambut)
4. Hijau muda (arsir) : adanya bagian yang lembap
5. Hijau tua (garis) : adanya bagian yang terkena rayap
6. Coklat (arsir) : adanya bagian yang tertutup material lain sehingga tidak bisa diamati

Peralatan yang dibutuhkan :

- 1 Meja berjalan / alas untuk menulis
- 2 Pensil
- 3 Penghapus
- 4 Pensil warna
- 5 Laser distance meter
- 6 Laser leveling meter
- 7 Meteran biasa/pita ukur
- 8 Penggaris siku
- 9 Kamera
- 10 Waterpass
- 11 Pилоx
- 12 Spidol
- 13 Frame ukuran 1m sebanyak 3 buah(bisa dibuat dari kayu)
- 14 Senter
- 15 Benang kasur
- 16 Paku
- 17 Scaffolding
- 18 Palu
- 19 Unting-unting



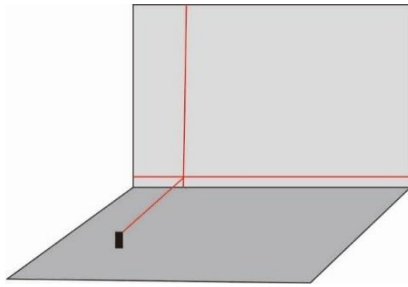
Bagian yang dilakukan *scanning* :

- I. Dinding
 - a. Ketegakan dinding terhadap lantai
 - b. Kesikuan dinding
 - c. Pola kerusakan dinding
- II. Lantai
 - a. Pola kerusakan lantai
 - b. Pola kemiringan lantai
 - c. Deformasi lantai
 - d. Identifikasi sistem sambungan
- III. Plafon
 - e. Pola kerusakan plafon
 - f. Pola kemiringan plafon
 - g. Deformasi plafon
- IV. Elemen ruang
 - a. Jendela
 - Perubahan bentuk
 - Kelengkapan
 - b. Pintu
 - Perubahan bentuk
 - Kelengkapan
 - c. Ornamen

Cara melakukan *scanning* :

- I. Dinding
 - a. Ketegakan dinding terhadap lantai
 - 1) Letakkan laser leveling meter pada lantai
 - 2) Pastikan laser tegak lurus (sensor pada alat tidak berbunyi)
 - 3) Tembakkan laser arah tegak lurus pada dinding dan lantai yang akan diamati ketegakannya
 - 4) Amati cahaya laser pada dinding dan lantai (sumbu x dan y)
 - 5) Jika terdapat jarak dari laser ke dinding maupun lantai, ukur jaraknya dengan meteran lalu catat
 - 6) Lakukan pada 4 sisi dinding terhadap lantai

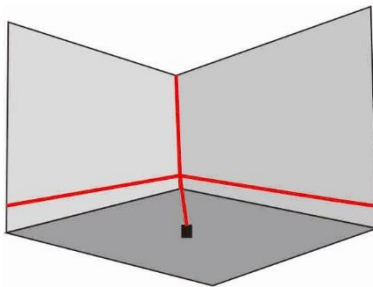
Ilustrasi :



b. Kesikuan dinding

- 1) Letakkan laser leveling meter pada lantai
- 2) Pastikan laser tegak lurus (sensor pada alat tidak berbunyi)
- 3) Tembakkan laser arah tegak lurus pada dua sisi dinding yang akan diamati kesikuannya
- 4) Amati cahaya laser (sumbu y) pada dua sisi dinding
- 5) Jika terdapat jarak dari laser ke dinding, ukur selisihnya dengan meteran lalu catat
- 6) Lakukan pada 4 sisi dinding

Ilustrasi :

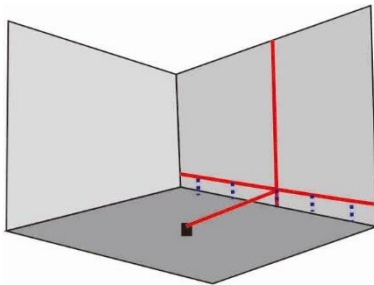


c. Pola kerusakan dinding

- 1) Siapkan gambar denah yang telah diberi kode ruangan dan grid per 1m
- 2) Beri keterangan sisi 1, sisi 2, sisi 3 dan sisi 4 pada layout
- 3) Mulai amati dari sisi 1
- 4) Identifikasi bukaan-bukaan yang terdapat pada dinding (jendela/pintu)
- 5) Ukur masing-masing bukaan tersebut dengan menggunakan *laser distance meter*
- 6) Gunakan ukuran jendela maupun pintu sebagai acuan, karena pada sisi dinding yang lain ukuran bukaan-bukaan tersebut relatif sama
- 7) Ukur letaknya pada dinding, lalu gambarkan pada layout yang telah disiapkan

- 1) Letakkan laser leveling meter pada lantai
- 2) Pastikan laser tegak lurus (sensor pada alat tidak berbunyi)
- 3) Tembakkan laser arah horizontal (sumbu y) pada salah satu sisi dinding
- 4) Ukur selisih ketinggian dari lantai ke laser (sumbu y) dengan meteran lalu catat
- 5) Gunakan alat bantu berupa *waterpass* untuk melihat selisih ketinggian lantai
- 6) Lakukan hal tersebut pada setiap grid lantai, lalu gambarkan pola kemiringannya

Ilustrasi :

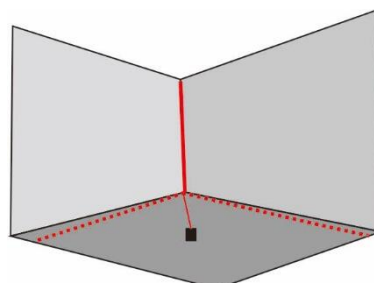


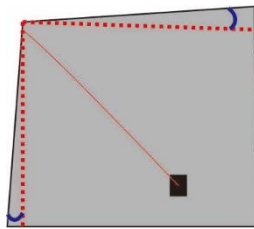
c. Deformasi lantai

- 1) Letakkan laser leveling meter pada posisi yang lebih tinggi dari lantai
- 2) Tembakkan laser arah vertikal dan horizontal pada salah satu sudut ruangan
- 3) Pastikan bahwa laser arah vertikal (sumbu x) telah berhimpit dengan sudut ruangan, dan laser arah horizontal (sumbu y dan z) terdapat pada lantai
- 4) Amati laser arah horizontal (sumbu y dan z)
- 5) Jika terdapat selisih antara laser dan sudut lantai, ukur dengan menggunakan meteran lalu catat

Lakukan pada ketiga sudut ruangan yang lain, lalu gambarkan pola deformasinya

Ilustrasi



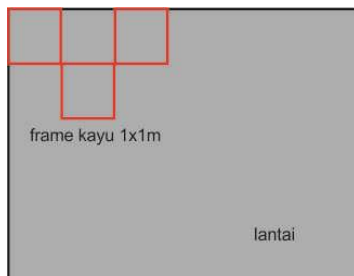


III. Plafon

a. Pola kerusakan plafon

- 1) Siapkan print out denah plafon yang telah diberi kode ruangan dan grid per 1m
- 2) Letakkan *frame* kayu (ukuran 1mx1m) pada salah satu sudut lantai
- 3) Proyeksikan *frame* kayu tersebut ke atas (plafon) dan sebagai pola grid sesuai yang ada pada denah
- 4) Amati dan gambarkan pola kerusakannya sesuai notasi yang telah ditetapkan
- 5) Pindahkan *frame* kayu tersebut sampai ke seluruh lantai
- 6) Apabila terdapat hal-hal yang spesifik, beri catatan pada gambar dan rekam dengan kamera

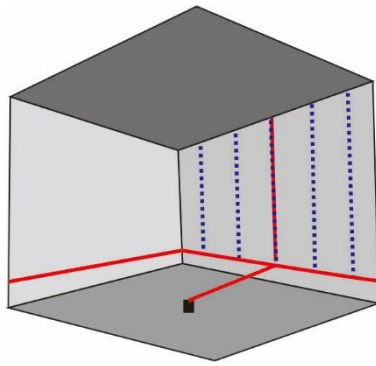
Ilustrasi



b. Pola kemiringan plafon

- 1) Letakkan laser leveling meter pada posisi yang lebih tinggi dari lantai ($\pm 100\text{cm}$)
- 2) Pastikan laser tegak lurus (sensor pada alat tidak berbunyi)
- 3) Tembakkan laser arah horizontal (sumbu y) pada salah satu sisi dinding
- 4) Ukur jarak ketinggian dari laser (sumbu y) ke plafon dengan menggunakan laser *distance* meter
- 5) Lakukan hal tersebut pada setiap grid plafon, lalu gambarkan pola kemiringannya

Ilustrasi



IV. Elemen ruang

Bukaan-bukaan pada ruang (jendela dan pintu) memiliki berbagai tipe. Pada tahap awal sebaiknya dilakukan identifikasi tipe pintu dan jendela yang terdapat pada bangunan. Identifikasi bukaan-bukaan tersebut berupa jenis, ukuran dan kelengkapan. Jika hal ini telah dilakukan maka akan mempermudah *scanning* perubahan bentuk dan kelengkapannya.

a. Jendela

- Perubahan bentuk

Letakkan laser leveling meter pada posisi yang lebih tinggi dari lantai ($\pm 100\text{cm}$).

Pastikan laser tegak lurus (sensor pada alat tidak berbunyi)

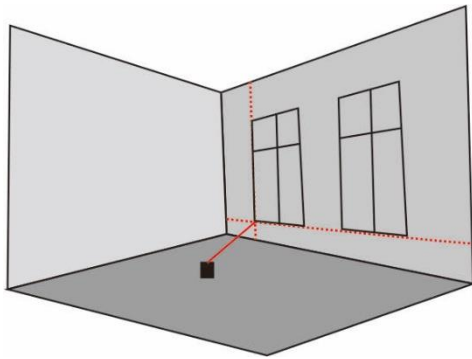
Arahkan laser arah vertikal (sumbu x) pada sisi kanan kusen

Pastikan bahwa laser berhimpit dengan kusen

Jika terdapat selisih jarak antara cahaya laser dengan kusen, ukur jaraknya dengan meteran lalu catat

Lakukan hal yang sama pada sisi kiri, atas dan bawah kusen lalu gambarkan perubahan bentuknya

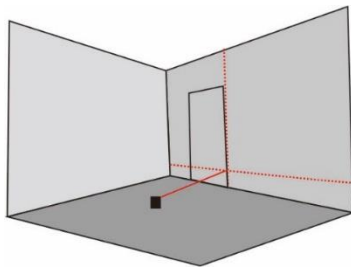
Ilustrasi :



- Kelengkapan
Buatlah form check list kelengkapan jendela seperti :
daun jendela dalam (4 buah)
jalusi/daun jendela luar (2 buah)
engsel (9 buah)
slot (2 buah)
grendel (2 buah)
amati dan checklist kelengkapannya
Jika terdapat hal yang spesifik, beri catatan dan rekam dengan kamera

b. Pintu

- Perubahan bentuk
Sama seperti pengamatan pada jendela
Ilustrasi :



- Kelengkapan
Sama seperti jendela

BAB IV. Materi Pelaporan Hasil (Contoh kasus : Pemeriksaan Gedung AA Maramis)

Gambaran situasi bangunan

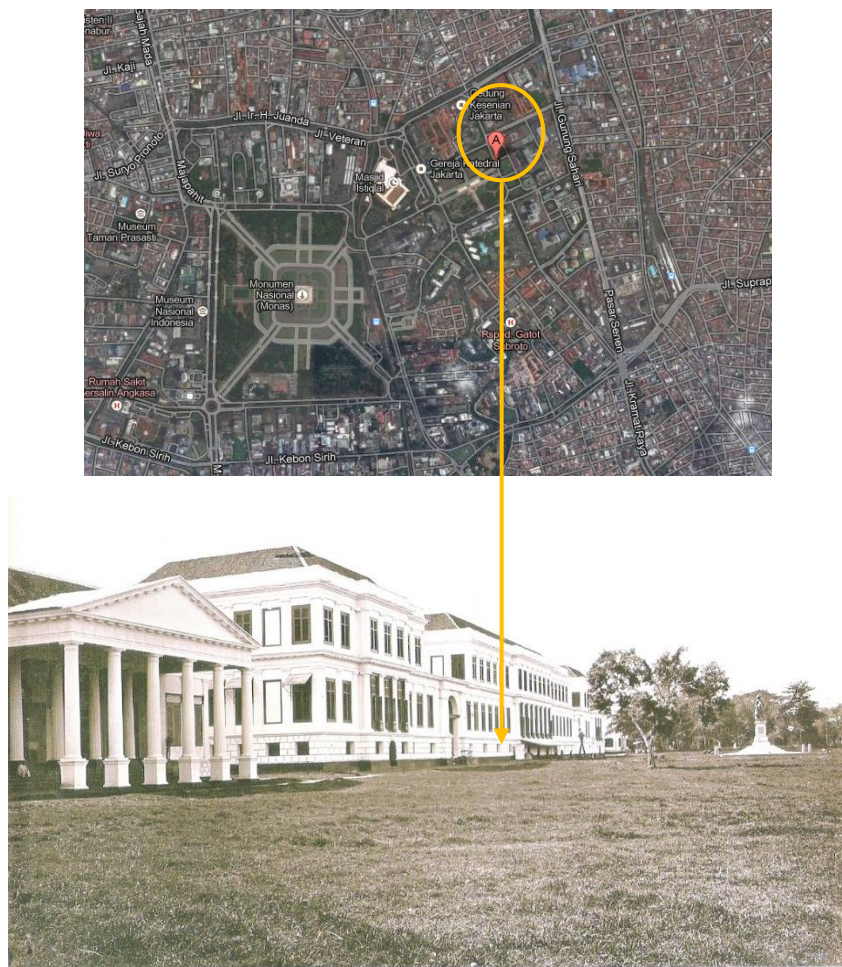
Bangunan cagar budaya AA Maramis terletak di kota Jakarta Pusat, berhadapan langsung dengan Lapangan Banteng dan tidak jauh dari Lapangan Monas. Posisi yang strategis tersebut tidak terlepas dari latar belakang pembangunannya, yang mana bangunan tersebut diperuntukan untuk istana Gubernur Jenderal Denles, sebagai calon pusat kegiatan pemerintah pada masa kolonial. Letak bangunan berdasarkan peta berikut.



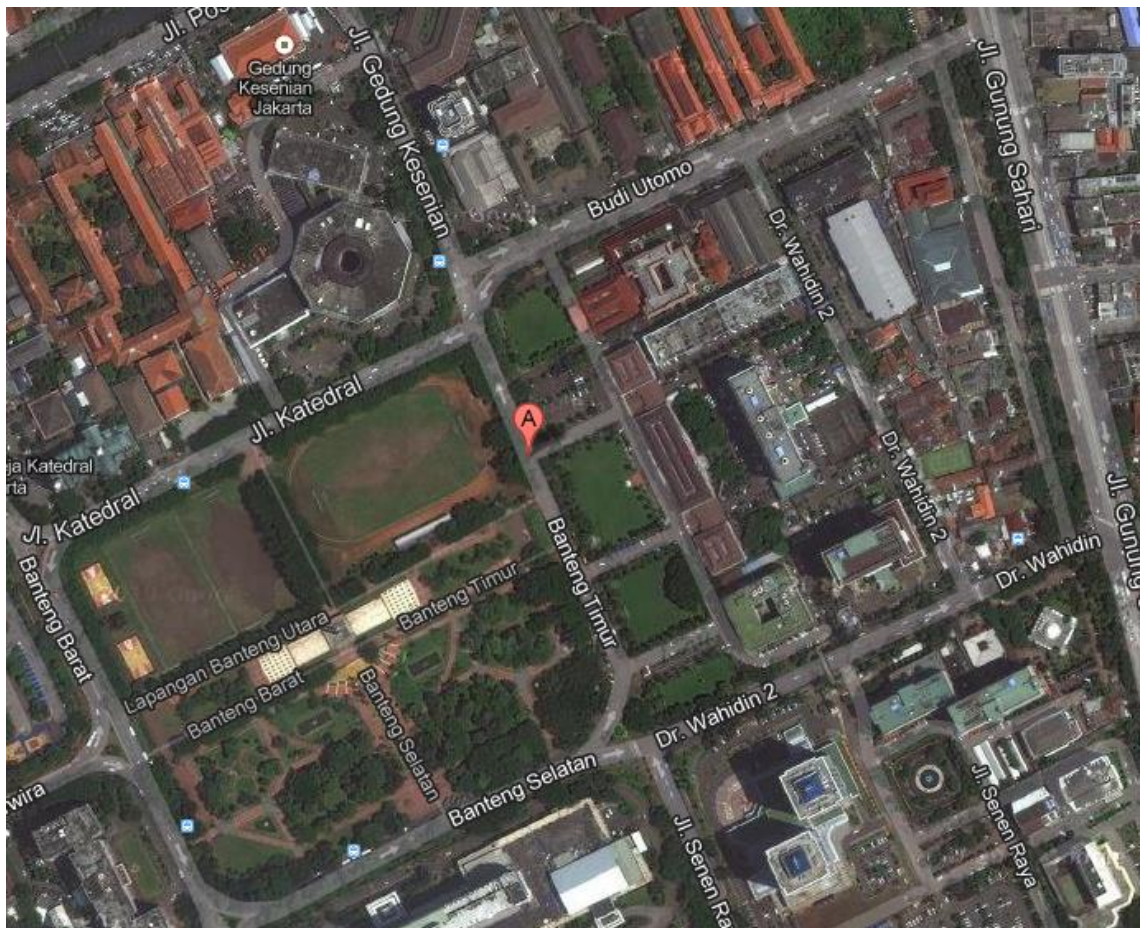
Gambar 35 Peta Situasi Jakarta Tempo Dulu, dimana Gedung AA Maramis I Berdiri

Berdasarkan dokumen tahun 1880 halaman bangunan AA Maramis menyatu dengan lapangan Banteng, dalam catatan sejarah bangunan tidak pernah benar-benar digunakan oleh sebagai istana penguasa kolonial pada masa tersebut. Bangunan tersebut untuk pertama kali digunakan pada tahun 1830. Dalam dokumen lama yang ditemukan ketika bangunan tersebut dikupas, yakni telah ditemukan dokumen dalam box besi dengan isi dokumen-dokumen keuangan yang dibuat pada tahun 1912, sehingga kurang lebih dalam tempo 88 tahun, bangunan tersebut telah digunakan sebagai bangunan pemerintah.

Penggalian fungsi bangunan dari masa ke masa perlu digali, karena informasinya dapat digunakan sebagai bahan rujukan untuk mengembalikan periode tertentu untuk menetapkan mengembalikan kondisi bangunan tersebut pada era tertentu, yang rasional sebagai bangunan cagar budaya.



Gambar 36 Bangunan AA Maramis pada tahun 1880 dan posisinya



Gambar 37 Gambar Situasi Gedung AA Maramis

Pada sisi utara site berbatasan dengan jalan Budi Utomo, sisi selatan jalan Dr. Wahidin 2, sisi Barat dengan jalan Lapangan Banteng Timur dan sisi Timur dengan Jalan Dr. Wahidin 2.

Sejarah Singkat Istana Daendels (Daendels Palace)

Pada tahun 1808 ketika itu Daendels memutuskan merobohkan benteng tua dan istana tua di Batavia Utara dan secara resmi memindahkan pusat administrasi ke wilayah selatan kota. Dalam sejarahnya bahwa para gubernur jenderal telah tinggal di istana tua VOC sejak tahun 1620an, sejak pertengahan abad 18 pada kenyataannya mereka telah tinggal di kediaman pribadi di selatan kota seperti Weltevreden. Daendels juga berkeinginan untuk membangun istana gubernur jenderal yang baru.

Pada tanggal 7 Maret 1809, Daendels memilih lokasi pembangunan istana terletak di sisi timur *Paradeplaats* (Jl. Lapangan Banteng Timur), *Waterlooplein*. Istana megah ini diimpikan Daendels sebagai pusat Batavia baru. Desain dikerjakan Letkol J.C Schultze (Juga merancang *Societeit Harmonie*) dan mencakup bangunan utama yang besar dengan sayap

di setiap sisinya untuk kantor Gubernur Jenderal, sedang kantor-kantor pemerintah berada pada bangunan terpisah. Juga ada rumah tamu dan kandang untuk 120 ekor kuda. Pengerasan dilakukan secara cepat dimana pondasi istana tersebut menggunakan material dari kastil lama yang diruntuhkan. Rencana pembangunan Istana Daendels tak pernah terwujud sesuai rencananya.

Pada tahun 1811, Daendels digantikan oleh Gubernur Jenderal Jan Willem Janssens. Pada saat itu pembangunan bangunan utama istana dan sayap-sayapnya baru setengahnya selesai. Jan Willem Janssens tidak memprioritaskan penyelesaian bangunan tersebut karena lebih mengutamakan adanya serangan dari Inggris. Dia hanya menyelesaikan pekerjaan atap saja, dan tidak ada pekerjaan penyelesaian hingga 15 tahun berlalu. Demikian pula, ketika periode pendudukan Inggris (1811-1816), yang pada waktu itu Gubernur Thomas Stamford Raffles mengatakan bahwa tidak ada alasan untuk melanjutkan penyelesaian bangunan karena itu dia lebih menyukai tinggal di Rijswijk.

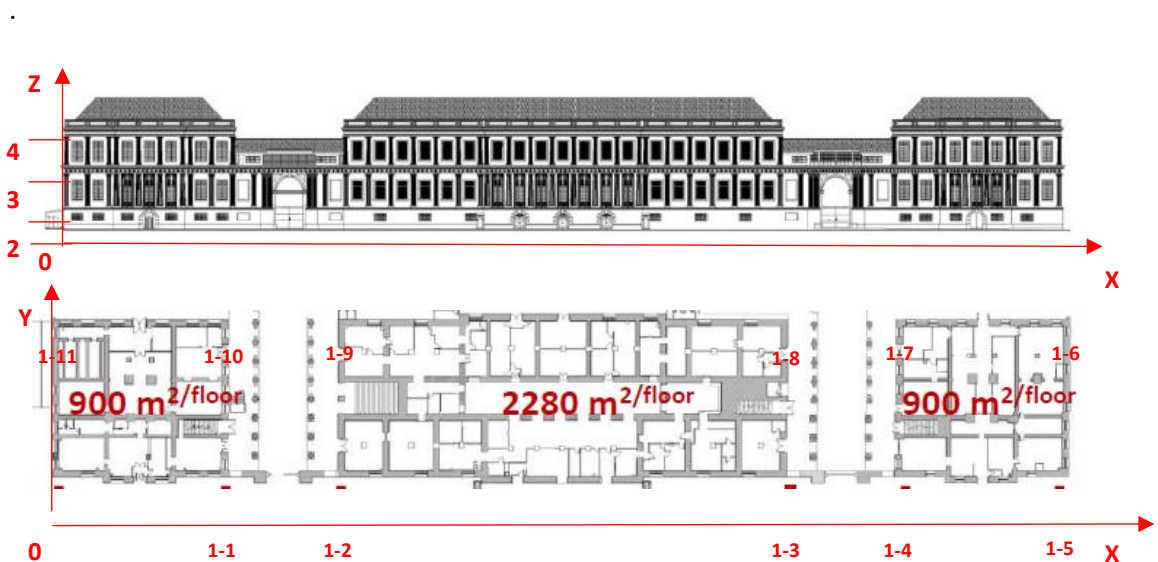
Tahun 1826, Jenderal Leonard Pierre Joseph Burggraaf du Bus de Gisignies memerintahkan insinyur Tromp untuk melanjutkan pembangunan istana yang akhirnya diselesaikan pada tahun 1828, tetapi tidak pernah digunakan sebagai tempat gubernur jenderal seperti yang dicita-citakan oleh Daendels pada waktu itu. Pada mulanya hampir 19 tahun sejak awal pembangunan, di dalam Istana Daendels tidak ditemukan kemewahan dan interiornya disusun tanpa nilai artistik. Lantai bawahnya digunakan untuk kantor pos, kantor percetakan negara, kantor mahkamah agung dan kantor administrasi umum. Saat ini, bangunan tersebut digunakan oleh Kementerian Keuangan Republik Indonesia. Batu berukir '*MDCCIX Ondidit Daendels MDCCCXXVII Erexit Du Bus*' yang ditempatkan di salah satu dinding mempertegas peran dua gubernur itu. Prasasti itu merupakan batu terakhir pembangunan Gedung Kementerian Keuangan.

Pondasi

Pengamatan pondasi dilakukan melalui perilaku bangunan atas, melalui proses *scanning* eksterior bangunan. Parameter yang digunakan meliputi; ketegakan bangunan, kedataran bangunan, dan kemiringan bangunan. Apakah parameter tersebut terjadi pada bangunan secara keseluruhan atau sebagian dari bangunan.

Bangunan yang diamati terdiri dari bangunan utama, bangunan sayap utara dan bangunan sayap selatan. Pekerjaan pengamatan eksterior dilakukan pada ketiga bangunan tersebut, berbeda dengan pekerjaan pengamatan interior, hanya dilakukan pada bangunan utama saja. Metoda yang digunakan adalah dengan mencari titik koordinat dengan menggunakan alat ukur *theodolit* dan *waterpass*. Posisi titik-titik koordinat tersebut menjadi landasan ketegakan, kedataran dan kemiringan bangunan seperti ditunjukkan oleh

Gambar 38 Gambar penentuan titik **koordinat** Bangunan



Gambar 38 Gambar penentuan titik koordinat Bangunan

Untuk mendapatkan informasi terkait dengan kondisi pondasi, maka langkah awal harus ditinjau dari karakteristik geometrik dari bangunan pada sisi eksterior. Koordinat 0,0,0 ditentukan berada pada bangunan sayap utara sisi timur. Untuk selanjutnya pengukuran diambil dari beberapa titik sudut bangunan pada lantai satu, lantai dua dan lantai tiga, serta titik dinding parafet pada atap, masing-masing diambil 12 data koordinat, sehingga total titik koordinat berjumlah 48 titik.

Pemeriksaan pondasi dilakukan bilamana terjadi perubahan bentuk bangunan bagian atas, yang ditunjukkan dengan adanya perubahan kedataran, ketegakan serta kemiringan bangunan, baik sebagian maupun seluruh bangunan. Selanjutnya untuk pemantauan keandalan bangunan pada jangka panjang, penyebab kerusakan pondasi kedepannya harus

segera dilakukan penyelidikan terkait dengan daya dukung tanah saat ini, serta salinitas (perubahan sifat kimia air dengan ditandai adanya perubahan kadar garam pada air tanah). Kadar asam pada air hujan saat ini juga dapat mengganggu keawetan bahan bangunan di atasnya, seperti bahan dinding pasangan bata dan plesterannya, sehingga pendekatan desain penanganan cagar budaya harus memperhatikan hal tersebut.

Scanning Geometrik Eksterior Bangunan

Peralatan

Alat yang digunakan untuk *scanning* eksterior bangunan, terdiri dari :

1. Satu set alat ukur waterpas;
2. Satu set rambu ukur;
3. Satu set theodolith;
4. Pita ukur 30 meter, dan 5 meter.

Metoda dan Pelaksanaan Pengukuran

Pengukuran dilaksanakan dengan cara menentukan titik-titik ukur yang ditandai oleh paku yang ditanam di halaman perkerasan dan patok-patok di taman yang tersebar di sekeliling bangunan, selanjutnya dari masing-masing titik diukur *Azimuth* untuk menentukan ketegakan bangunan dan elevasi untuk kedataran bangunan, *azimuth* diukur secara langsung sedangkan elevasi bangunan diukur dengan cara tachimetri yaitu melakukan pengukuran sudut miring dan jarak datar, untuk selanjutnya dihitung beda tingginya. Detail pada bangunan yang dijadikan titik-titik ukur untuk menentukan ketegakan dan kemiringan bangunan, diambil titik-titik pada tiang kolom/ornamen tiang kolom dimana setiap lantai bangunan diukur azimuthnya pada 2 titik, 1 titik pada dasar kolom dan satu lagi diujung tiang kolomnya. Untuk menentukan kedataran bangunan diukur elevasi pada setiap dasar lantai yang ditandai oleh kanopi yang ada pada setiap lantai. Elevasi bangunan hasil ukur dihitung dengan *benchmark* elevasi dari lantai luar yang ada di lorong masuk gedung utama.

Hasil Scanning Geometrik Eksterior Bangunan

A. Kedataran Bangunan

Hasil pengecekan kedataran bangunan ditampilkan/disusun dalam bentuk posisi koordinat tiga arah X, Y, Z, serta disusun berdasarkan lapis jumlah lantai, tata cara pelaporan hasil dicatat dalam daftar seperti pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Posisi Bangunan berdasarkan Hasil Pengukuran

I. Tampak Barat

Lantai satu

	1-0	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9	1-10	1-11	1-12	1-13	1-14
X	0	7.470	22.83	30.29	49.13	63.41	73.79	85.01	102.94	119.50	126.62	146.66	155.43	167.65	175.48

Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Z	3.650	3.670	3.623	3.594	3.633	3.612	3.588	3.602	3.576	3.584	3.601	3.575	3.551	3.520	3.593

Lantai dua

	2-0	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8	2-9	2-10	2-11	2-12	2-13	2-14
X	0	7.470	22.83	30.29	49.13	63.41	73.79	85.01	102.94	119.50	126.62	146.66	155.43	167.65	175.48
Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Z	11.026	11.062	11.024	11.036	11.002	11.046	11.063	11.040	11.083	11.025	11.077	11.031	10.981	10.929	11.027

Lantai tiga

	3-0	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6	3-7	3-8	3-9	3-10	3-11	3-12	3-13	3-14
X	0	7.470	22.83	30.29	49.13	63.41	73.79	85.01	102.94	119.50	126.62	146.66	155.43	167.65	175.48
Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Z	17.826	17.850	17.843	17.875	17.846	17.852	17.879	17.869	17.842	17.887	17.858	17.869	17.846	17.817	17.845

II. Tampak Timur

Lantai satu

	1-0	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9	1-10
X	175.00	168.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Z	3.630	3.619	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Lantai dua

	2-0	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8	2-9	2-10
X	175.0 0	168.6 4	145.1 4	125.6 6	105.4 0	89.60	67.79	48.72	29.44	30.16	0.00
Y	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00
Z	11.06 0	11.02 0	11.07 1	11.04 6	11.01 2	11.05 4	11.03 9	11.00 5	11.02 5	11.06 7	11.07 0

Lantai tiga

	3-0	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6	3-7	3-8	3-9	3-10
--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

X	175.0 0	168.6 4	145.1 4	125.6 6	105.4 0	89.60	67.79	48.72	29.44	30.16	0.00
Y	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00
Z	17.97 4	17.92 8	17.89 8	17.90 6	17.97 7	17.94 7	17.97 6	17.96 2	17.93 6	17.94 0	17.89 9

III. Tampak Utara

Lantai satu

	1-0	1-1	1-2
X	-	-	-
Y	-	-	-
Z	-	-	-

Lantai dua

	2-0	2-1	2-2
X	0.00	0.00	-
Y	0.00	27.00	-
Z	11.046	11.070	-

Lantai tiga

	3-0	3-1	3-2
X	0.00	0.00	-
Y	0.00	27.00	-
Z	17.826	17.899	-

IV. Tampak Selatan

Lantai satu

	1-0	1-1	1-2
X	175.00	175.00	175.00
Y	0.00	14.04	27.00
Z	3.626	3.632	3.661

Lantai dua

	2-0	2-1	2-2
X	175.00	175.00	175.00
Y	0.00	14.04	27.00
Z	11.075	11.042	11.020

Lantai tiga

	3-0	3-1	3-2
X	175.00	175.00	175.00
Y	0.00	14.04	27.00
Z	17.937	17.915	17.966

Analisa hasil ukuran

A. Tampak Barat

Lantai 1

Jumlah titik ukur 15 buah, total elevasi dari 15 titik = 55,972 mtr

Elevasi rata-rata = 3.598 mtr

Elevasi maksimum = 3.670 mtr Pada posisi titik 1-2

Elevasi minimum = 3.520 mtr Pada posisi titik 1-13

Beda tinggi elevasi maksimum dengan elevasi minimum 0.150 mtr

Lantai 2

Jumlah titik ukur 15 buah, total elevasi dari 15 titik = 165.452 mtr

Elevasi rata-rata = 11.030 mtr

Elevasi maksimum = 11.080 mtr Pada posisi titik 2-8

Elevasi minimum = 10.929 mtr Pada posisi titik 2-13

Beda tinggi elevasi maksimum dengan elevasi minimum 0.151 mtr

Lantai 3

Jumlah titik ukur 15 buah, total elevasi dari 15 titik = 267.804 mtr

Elevasi rata-rata = 17.854 mtr

Elevasi maksimum = 17.887 mtr Pada posisi titik 3-9

Elevasi minimum = 17.817 mtr Pada posisi titik 3-13

Beda tinggi elevasi maksimum dengan elevasi minimum 0.070 mtr

Hasil pengukuran elevasi kedataran bangunan pada tampak barat pada lantai 1 dan 2 ada perbedaan tinggi dari elevasi maksimum terhadap elevasi minimum sebesar 0.150 mtr, namun perbedaan tinggi tersebut tidak linier dalam satu kemiringan melainkan ada beberapa titik diantara kedua titik tersebut dengan perbedaan tinggi yang tidak beraturan, sehingga sulit untuk mengambil keputusan bahwa perbedaan tinggi tersebut merupakan suatu deformasi dari bangunan tersebut. Yang perlu digaris bawahi adalah elevasi minimum dari lantai 1, 2 dan 3 terletak pada titik 1-13, 2-13 dan 3-13, titik-titik tersebut mempunyai posisi absis (X) yang sama yaitu 167 mtr, hal ini perlu dikaji lebih lanjut kemungkinan ada penurunan bangunan pada posisi titik tersebut.

B. Tampak Timur

Lantai 1

Jumlah titik ukur 2 buah, total elevasi dari 2 titik = 7.249 mtr

Elevasi rata-rata = 3.6245 mtr

Elevasi maksimum = 3.630 mtr Pada posisi titik 1-0

Elevasi minimum = 3.619 mtr Pada posisi titik 1-1

Beda tinggi elevasi maksimum dengan elevasi minimum 0.011 mtr

Lantai 2

Jumlah titik ukur 11 buah, total elevasi dari 11 titik = 121.469 mtr

Elevasi rata-rata = 11.043 mtr
 Elevasi maksimum = 11.070 mtr Pada posisi titik 2-10
 Elevasi minimum = 11.012 mtr Pada posisi titik 2-4
 Beda tinggi elevasi maksimum dengan elevasi minimum 0.058 mtr

Lantai 3

Jumlah titik ukur 11 buah, total elevasi dari 11 titik = 197.343 mtr

Elevasi rata-rata = 17.940 mtr
 Elevasi maksimum = 17.977 mtr Pada posisi titik 3-4
 Elevasi minimum = 17.898 mtr Pada posisi titik 3-10
 Beda tinggi elevasi maksimum dengan elevasi minimum 0.070 mtr

Hasil pengukuran elevasi kedataran bangunan pada tampak timur pada lantai 1 hanya diukur 2 titik, karena lantai satu tampak timur sudah tertutup oleh bangunan tambahan dan tidak memungkinkan untuk diukur. Pada lantai 2 dan 3 ada perbedaan tinggi dari elevasi maksimum terhadap elevasi minimum sebesar 0.070 mtr namun perbedaan tinggi tersebut tidak linier dalam satu kemiringan melainkan ada beberapa titik diantara kedua titik tersebut dengan perbedaan tinggi yang tidak beraturan, sehingga sulit untuk mengambil keputusan bahwa perbedaan tinggi tersebut merupakan suatu deformasi dari bangunan tersebut.

C. Tampak Selatan

Lantai 1

Jumlah titik ukur 3 buah, total elevasi dari 3 titik = 10.919 mtr

Elevasi rata-rata = 3.640 mtr
 Elevasi maksimum = 3.661 mtr Pada posisi titik 1-2
 Elevasi minimum = 3.626 mtr Pada posisi titik 1-0
 Beda tinggi elevasi maksimum dengan elevasi minimum 0.035 mtr

Lantai 2

Jumlah titik ukur 3 buah, total elevasi dari 3 titik = 33.137 mtr

Elevasi rata-rata = 11.046 mtr
 Elevasi maksimum = 11.075 mtr Pada posisi titik 2-0
 Elevasi minimum = 11.020 mtr Pada posisi titik 2-2
 Beda tinggi elevasi maksimum dengan elevasi minimum 0.055mtr

Lantai 3

Jumlah titik ukur 3 buah, total elevasi dari 3 titik = 53.818 mtr

Elevasi rata-rata = 17.939 mtr

Elevasi maksimum = 17.966 mtr Pada posisi titik 3-2

Elevasi minimum = 17.915 mtr Pada posisi titik 3-1

Beda tinggi elevasi maksimum dengan elevasi minimum 0.051 mtr

Hasil pengukuran elevasi kedataran bangunan pada tampak selatan pada lantai 1, lantai 2 dan 3 ada perbedaan tinggi dari elevasi maksimum terhadap elevasi minimum sebesar 0.050 mtr pada jarak 27.0 mtr atau 0.185 %, kemiringan tersebut masih di bawah standar deformasi bangunan.

B. Ketegakan Bangunan

Hasil pengukuran untuk mengecek ketegakan bangunan ditampilkan/disusun dalam bentuk posisi koordinat dua arah X, Y, Koordinat 0,0 ditentukan berada pada bangunan sayap utara sisi barat. Untuk selanjutnya pengukuran diambil per lantai di mana setiap lantai diukur azimuth 2 titik dari tiang kolom, yaitu satu titik didasar kolom dan satu lagi diujung kolom. dari beberapa tiang kolom bangunan pada lantai satu, lantai dua dan lantai tiga, masing-masing diambil 3 data koordinat untuk lantai 1, 21 koordinat masing-masing untuk lantai 2 dan lantai 3 , sehingga total titik koordinat berjumlah 45 titik. Kemiringan tiang kolom ditentukan sebagai $\Delta X = X_{12} - X_{11}$ yang diukur serta disusun berdasarkan lapis jumlah lantai, tata cara pelaporan hasil dicatat dalam daftar seperti pada Tabel 7 berikut.

Tabel 8 Tabulasi hasil pengukuran ketegakan bangunan

I. Tampak Barat

Lantai satu

	1-0	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9	1-10
X11	0.000	9.880	30.240	49.410	75.060	102.890	126.570	146.400	155.210	167.440	175.540
Y11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
X12	0.000	9.880	30.240	49.410	75.060	102.890	126.570	146.400	155.210	167.440	175.540
Y12	2.800	2.800	2.800	2.800	2.800	2.800	2.800	2.800	2.800	2.800	2.800
ΔX	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Lantai dua

	2-0	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8	2-9	2-10
X21	0.000	9.880	30.240	49.410	75.060	102.890	126.570	146.400	155.210	167.440	175.540

Y21	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
X22	0.005	9.880	30.260	49.410	75.060	102.890	126.570	146.400	155.210	167.451	175.540
Y22	8.500	8.500	8.500	8.500	8.500	8.500	8.500	8.500	8.500	8.500	8.500
ΔX	0.005	0.000	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000

Lantai tiga

	3-0	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6	3-7	3-8	3-9	3-10
X31	0.000	9.880	30.240	49.410	75.060	102.890	126.570	146.400	155.210	167.440	175.540
Y31	11.400	11.400	11.400	11.400	11.400	11.400	11.400	11.400	11.400	11.400	11.400
X32	0.000	9.880	30.240	49.410	75.060	102.890	126.570	146.400	155.222	167.440	175.5404
Y32	15.300	15.300	15.300	15.300	15.300	15.300	15.300	15.300	15.300	15.300	15.300
ΔX	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.000	0.0004

I. Tampak Timur

Lantai satu

	1-0	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9
X11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ΔX	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Lantai dua

	2-0	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8	2-9
X21	0.000	29.850	49.290	70.970	106.200	126.060	144.830	152.340	162.690	174.970
Y21	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
X22	0.000	29.850	49.290	70.970	106.200	126.060	144.830	152.340	162.690	174.970
Y22	8.500	8.500	8.500	8.500	8.500	8.500	8.500	8.500	8.500	8.500
ΔX	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Lantai tiga

	3-0	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6	3-7	3-8	3-9
X31	0.000	29.850	49.290	70.970	106.200	126.060	144.830	152.340	162.690	174.970

Y31	11.400	11.400	11.400	11.400	11.400	11.400	11.400	11.400	11.400	11.400
X32	0.000	29.850	49.290	70.970	106.200	126.060	144.830	152.340	162.690	174.970
Y32	15.300	15.300	15.300	15.300	15.300	15.300	15.300	15.300	15.300	15.300
ΔX	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

V. Tampak Utara

Lantai satu

	1-0	1-1	1-2
X11	-	-	-
Y11	-	-	-
X12	-	-	-
Y12	-	-	-
ΔX	-	-	-

Lantai dua

	2-0	2-1	2-2
X21	-	-	-
Y21	-	-	-
X22	-	-	-
Y22	-	-	-
ΔX	-	-	-

Lantai tiga

	3-0	3-1	3-2
X31	-	-	-
Y31	-	-	-
X32	-	-	-
Y32	-	-	-
ΔX	-	-	-

VI. Tampak Selatan

Lantai satu

	1-0	1-1	1-2
X11	0.000	14.040	26.780
Y11	0.000	0.000	0.000
X12	0.000	14.040	26.780
Y12	2.800	2.800	2.800
ΔX	0.000	0.000	0.000

Lantai dua

	2-0	2-1	2-2
X21	0.000	14.040	26.780
Y21	4.000	4.000	4.000
X22	0.000	14.040	26.780
Y22	8.500	8.500	8.500
ΔX	0.000	0.000	0.000

Lantai tiga

	3-0	3-1	3-2
X31	0.000	14.040	26.780
Y31	11.400	11.400	11.400
X32	0.000	14.040	26.780
Y32	15.300	15.300	15.300
ΔX	0.000	0.000	0.000

Ketegakan bangunan pada lantai 1 tampak timur serta lantai 1,2 dan 3 tampak utara tidak bisa dilakukan pengukuran karena keadaan lapangan yang terhalang bangunan.

Hasil pengukuran ketegakan bangunan pada keseluruhan tampak, pada lantai 1, lantai 2 dan 3 menunjukkan bahwa deformasi terbesar adalah 2 cm, yang terletak pada posisi titik 2-2 tampak barat dengan ketinggian 4.50 meter, atau 0,04%, kemiringan tersebut masih di bawah standar deformasi bangunan. Untuk ketegakan bangunan disimpulkan secara keseluruhan tidak terjadi kemiringan/deformasi bangunan

Tidak terdapat penurunan pondasi sebagian atau menyeluruh dalam batas yang membahayakan, meskipun dibandingkan dengan data dan foto-foto lama, menunjukkan bahwa telah terjadi perubahan peil bangunan. Hal tersebut dapat disebabkan oleh penurunan bangunan secara serentak atau adanya penambahan/pengurangan halaman dan sekitar bangunan.

Rekomendasi

Meskipun tidak terjadi tanda-tanda kerusakan pondasi, namun melihat pada kondisi Jakarta secara umumnya, khususnya wilayah Glodok, yang tidak jauh dari kawasan Lapangan Banteng, kawasan Glodok sudah terjadi intrusi air laut. Intrusi air laut sangat membahayakan pondasi bangunan, khususnya bangunan AA Maramis, yang mana konstruksi pondasinya terdiri dari pondasi pasangan bata dan cerucuk kayu galam, kedua sifat bahan tersebut rettag dengan garam.

Untuk kebutuhan jangka panjang, maka perbaikan tanah harus segera dilakukan dengan melakukan *injection/gourting*, sehingga dapat meningkatkan daya dukung tanah, selain itu fungsi *gouting* juga untuk menahan air tanah yang mengandung garam merusak bahan pondasi.

Scanning Interior Bangunan

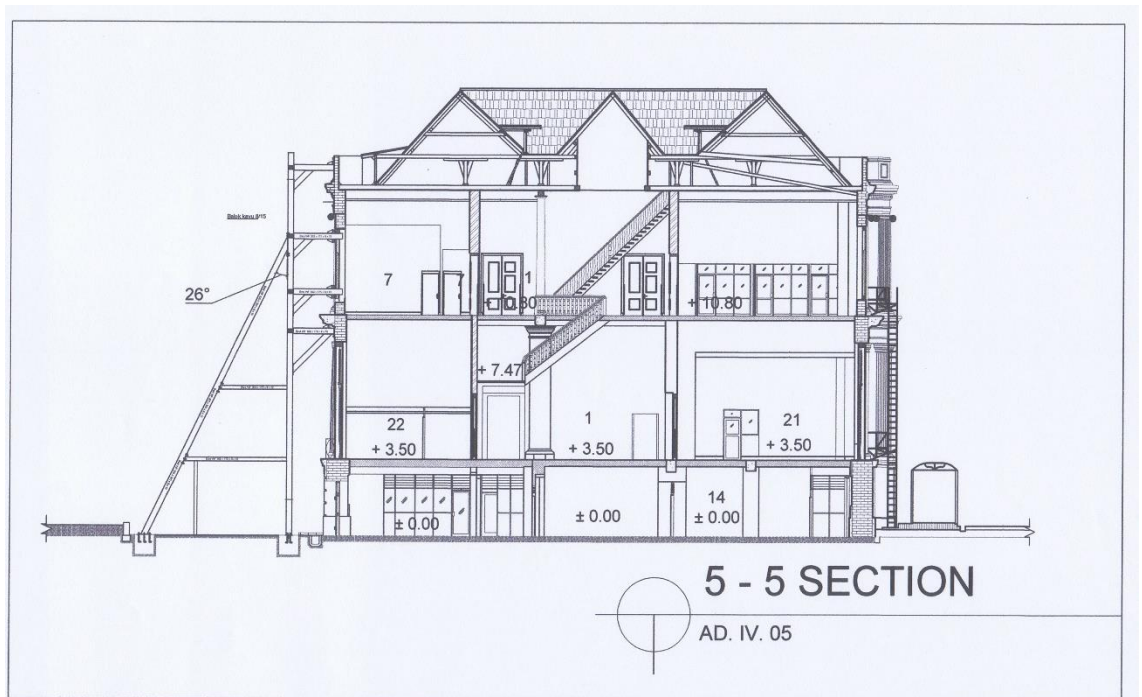
Data Bangunan

Scanning bangunan dilakukan pada bangunan utama, lantai tiga dan lantai dua, sedangkan lantai satu, dilakukan hanya pada beberapa bagian saja, mengingat bangunan utama pada lantai satu masih digunakan untuk kegiatan percetakan. Bangunan sayap utara tidak dilakukan *scanning*, mengingat bangunan tersebut masih digunakan seluruhnya. Sedangkan bangunan sayap selatan, pada tahap ini, tidak dilakukan *scanning*, mengingat pada pemeriksaan awal telah ditemukan kondisi bangunan yang mengalami retak pada satu sisi dinding lantai tiga, sehingga dapat membahayakan.

Bangunan Sayap Selatan

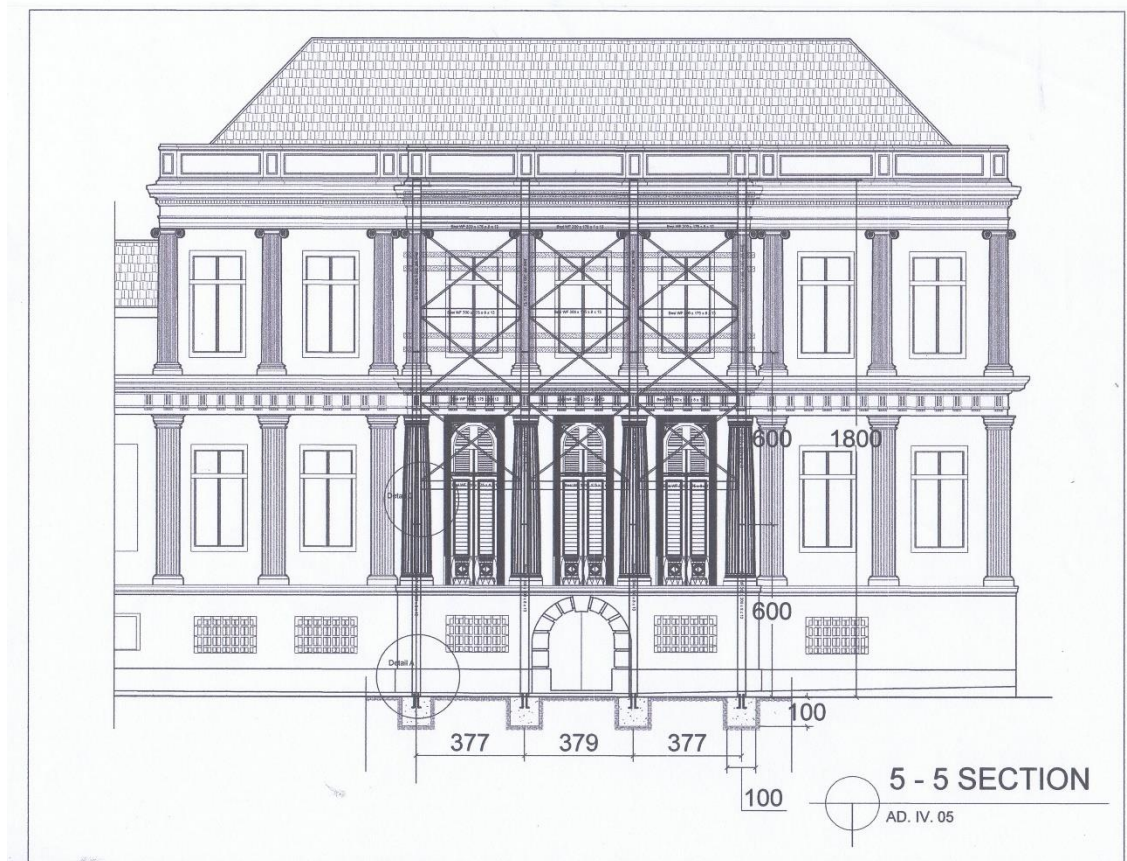
Untuk itu pada bangunan sayap selatan sebelum dilakukan pengupasan dan *scanning*, maka bangunan sayap selatan dilakukan terlebih dahulu penanganan sementara, agar ketika

dilakukan pegupasan dan *scanning*, kondisi bangunan sudah dalam aman dalam arti sementara.



Gambar 39 Gambar Potongan Metoda Perkuatan Sementara Bangunan Sayap Selatan

Konstruksi pekerjaan penanganan sementara dengan menggunakan baja I 400.400.40, ditujukan untuk menopang dinding yang sudah terlepas mengelilingi bidang dinding sisi barat. Rangka baja menopang dinding dengan menggunakan bantalan pada titik tumpuan dengan menggunakan bahan dua buah ban, sehingga tumpuan tidak menahan dengan tajam akan tetapi masih terjadi *damp*er bila mana terjadi gempa.



Gambar 40 Tampak depan Rangka Perkuatan Sementara Bangunan Sayap Selatan

Perlakuan pada bangunan sayap selatan seharusnya dilakukan penyambungan dinding yang telah mengalami retakan. Pekerjaan penyambungan belum dapat dilakukan, mengingat, keterbatasan anggaran dan waktu pelaksanaan; tahapan yang harus dilakukan sebelum penyambungan dinding pasangan bata yang lepas, adalah; (1) lakukan pengupasan pada sisi interior bangunan, baik plafon, lapisan dinding, serta lapisan lantai. Lakukan secara hati-hati, mengingat kondisi bangunan khususnya yang masih tertutup oleh lapisan tambahan tidak dapat diprediksi kondisinya, untuk itu ketika pelaksanaan harus dilakukan pengamanan bagi bangunan maupun bagi pekerja, (2) lakukan secara bertahap, mulai dengan pengupasan plafon, dilanjutkan dengan dinding, dan terakhir lapisan lantai, (3) segera beri tindakan pada bagian bangunan yang memiliki resiko membahayakan kepada manusia (pekerja, atau yang lainnya) dan kepada bangunan itu sendiri, (5) lakukan pemantauan dan analisis penyebab retakan pada dinding tersebut, (6) buat rencana perkuatan serta penyambungan pada dinding yang retak, (7) lakukan perkuatan secara tahap demi tahap.

Pelaksanaan kegiatan perkuatan sementara pada bangunan sayap selatan, dilakukan melalui beberapa tahap; (1) konsep penanganan disampaikan oleh Tim Peneliti, (2) selanjutnya Tim Perkuatan Sementara mengajukan *Shop Drawing*, (3) *Shop Drawing* dibahas dalam Tim Peneliti, ketika pembahasan terjadi perdebatan, mengingat *Shop Drawing* yang diajukan akan mengganggu artefak, (4) sehingga diputuskan dilakukan redesain ulang, yang dibuat oleh Tim Perkuatan Sementara dengan kisi-kisi tidak mengganggu artefak, dan dipandu bersama oleh Tim Peneliti (Puskim dan PDA), (5) menghasilkan *Shop Drawing* baru, dan disetujui oleh Tim Peneliti. Tim Perkuatan sementara mengajukan penjadwalan dan kebutuhan sumber daya, sampai dengan mendapat persetujuan dari Tim Peneliti, (7) pelaksanaan perkuatan sementara dilakukan. Kegiatan pelaksanaan perkuatan sementara seperti diperlihatkan oleh Gambar 41



Gambar 41 Kegiatan perkuatan sementara pada Bangunan Sayap Selatan

Bangunan Sayap Utara

Karakteristik kerusakan pada bangunan sayap utara, adalah telah terdapat sekelompok balok lantai yang mengalami pelapukan pada sisi tumpuan. Hal ini sudah sangat membahayakan, namun dikarenakan bangunan tersebut masih digunakan, maka Tim Peneliti belum dapat melakukan *treatment* apapun. Langkah-langkah mendesak yang harus dilakukan pada bangunan sayap utara adalah melakukan perkuatan sementara dengan memasang perancah untuk menopang balok lantai yang telah lapuk, dengan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut; (1) kupas plafon tambahan pada lantai di bawahnya, sehingga balok lantai berkurang karena beban plafon digantung pada balok lantai, (2) siapkan perancah di bawah plafon, sehingga membentuk rangka 3 dimensi, yang melindungi pekerja bila terjadi keruntuhan pada balok lantai di atas, perancah harus berdiri pada lantai kerja yang kuat, untuk itu alas dari perancah harus dipastikan menumpu pada bidang yang kuat dan benar, (3) perancah yang digunakan dilanjutkan agar dapat menopang balok lantai, bila plafon sudah terkupas, (4) lakukan pengupasan, beban-beban yang berada di atas lantai tersebut, dengan mengupas dinding partisi tambahan dan penutup lantai tambahan. Jangan lakukan apapun bilamana belum ada penanganan sementara dilakukan di bawahnya, (5) lakukan perbaikan permanen terhadap balok lantai.

Bangunan Utama

Penelitian mendetail dilakukan pada bangunan utama, khususnya pada lantai tiga dan lantai dua, sedangkan lantai satu belum dapat dilakukan secara mendetail mengingat sebagian besar ruang masih digunakan untuk kegiatan perkantoran.

Kegiatan pada bangunan utama adalah pengupasan dan *scanning* kerusakan bangunan. Pengupasan dilakukan sejauh karakteristik bangunan aslinya dapat diteliti tanpa harus merusak artefak. Langkah awal dengan mengupas bagian partisi tambahan, dilanjutkan dengan plafon. Pada proses pengupasan plafon, hal yang tidak diprediksi di awal adalah, bahwa plafon ternyata pekerjaan pengupasannya harus dilakukan beberapa tahap, mengingat lapisan plafon sudah mengalami penambahan beberapa kali dalam beberapa periode, dan tidak pernah dilakukan pengupasan terhadap plafon yang diganti. Dengan dilakukan pengupasan plafon tambahan beban mati yang membebani bangunan secara tidak langsung dikurangi, pengurangan beban mati pada bangunan yang tidak diperlukan adalah harus segera dilakukan mengingat bangunan secara keseluruhan telah mengalami deteriorasi akibat faktor usia.

Proses Pengupasan

Pengupasan dilakukan berdasarkan beberapa tahap, mengikuti pedoman pengupasan berdasarkan dokumen I, yang meliputi;

1. Pemutusan Jaringan Utilitas Bangunan

Proses pemutusan dilakukan sepenuhnya oleh Bagian Rumah Tangga Kementerian Keuangan, dengan arahan dari Tim Peneliti dan pemantauan pelaksanaan oleh Proyek Manajer. Proses pemutusan hubungan listrik adalah pekerjaan yang mendapat perhatian khusus, karena pekerjaan ini dikhawatirkan dapat membahayakan pekerja maupun bangunan, seperti terjadi korsleting, yang dapat mengakibatkan kebakaran.

Pekerjaan pemutusan jaringan air bersih, khususnya menyangkut keberadaan reservoir atas, yang dapat mengganggu bangunan dibawahnya, karena air dari reservoir dapat mengakibatkan kelembapan pada dinding bangunan di bawahnya. Selain itu juga beban reservoir juga membebani bangunan yang sudah mengalami kelelahan dari aspek struktur dan bahan.

Dukting AC merupakan bagian yang belum sepenuhnya dapat dibongkar, mengingat sebagian duckting masih digunakan, karena beberapa ruang masih beroperasi, dan membutuhkan pengkondisian udara. Disarankan duckting AC untuk segera dibersihkan, karena merupakan beban bagi bangunan. Penggunaan AC Central, ke depan harus dipertimbangkan kembali, mengingat perilaku AC akan mempengaruhi bahan bangunan yang digunakan.

2. Pengupasan Partisi Tambahan

Partisi bangunan pada lantai tiga dan lantai dua pada bangunan utama telah dibersihkan semua, dinding partisi merupakan dinding tambahan, secara struktural dinding partisi membebani struktur bangunan dan tidak secara signifikan berfungsi sebagai pengkaku pada bangunan, dan nyaris tidak bersatu dengan bangunan lama, sehingga keberadaan partisi hanya menambah beban mati pada bangunan.

3. Pengupasan Plafon

Pengupasan plafon dilakukan pada plafon tambahan lantai tiga dan lantai dua. Plafon tambahan telah terjadi dua sampai dengan tiga lapisan, yang dilakukan berdasarkan dua atau tiga periode, dan plafon pelapis ketika akan dilapis ulang tidak pernah dikupas terlebih dahulu, sehingga beban plafon hanya akan menambah beban pada balok lantai.

Pengupasan plafon secara keseluruhan sangat diperlukan mengingat beberapa balok lantai sudah mengalami pelapukan, dengan dikupasnya plafon, maka beban terhadap balok lantai akan berkurang dan itu membantu keandalan struktur bangunan.

4. Pengupasan Pelapis Dinding Lama

Dinding pelapis dinding lama, dengan susunan kayu lapis, *lambersering*, maupun panel gypsum, sebagai bahan bangunan yang menutup dinding lama telah mengakibatkan kelembaban pada dinding lama, karena terdapat rongga yang menutupi dinding lama untuk bernafas. Dengan dikupasnya lapisan penutup dinding, lebih memberikan peluang untuk dinding dapat bernafas, sehingga dapat mengurangi kelembaban.

Kelembaban dinding lama sudah terjadi khususnya pada lapisan plesteran, sehingga plesteran pada bagian interior bangunan sudah harus dikupas dan diganti dengan plesteran baru. Termasuk peleteran tambahan dengan komposisi baru, yang tampak telah dikerjakan pada periode tertentu. Pekerjaan plesteran dengan material baru memperlihatkan adanya perlemahan ikatan, karena bahan baru tidak terjadi homogenitas dengan dinding lama.

5. Pengupasan Pelapis Lantai Lama

Lantai lama ditutup oleh beberapa jenis lapisan, diantaranya; (1) lapisan papan kembali seperti terjadi pada lantai koridor. Pada ruang koridor selain lantai papan juga dilapisi di atasnya dengan lantai parket, (2) lantai vinyl, dimana di bawah lantai vinyl diberikan lapisan kayu lapis antara 12 – 15 mm, (3) lantai keramik dengan lapisan beton bertulang pada lantai tambahan untuk kamar mandi.

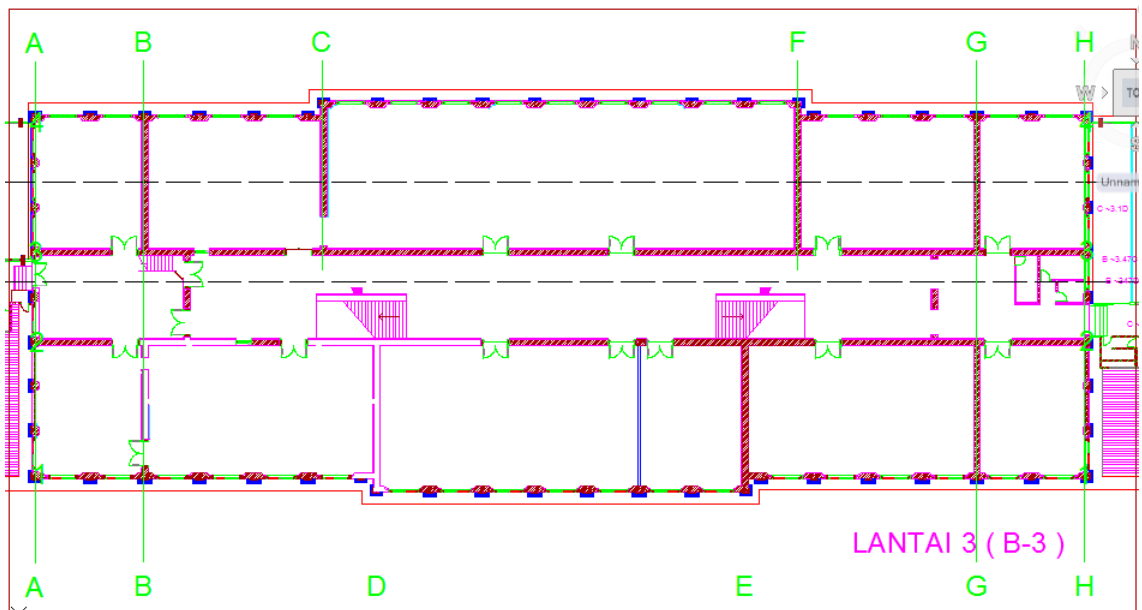
6. Pembongkaran Bangunan Tambahan

Belum semua bangunan tambahan dibongkar, terutama pada bangunan penghubung, meskipun kondisi bangunan penghubung sudah mengkhawatirkan.

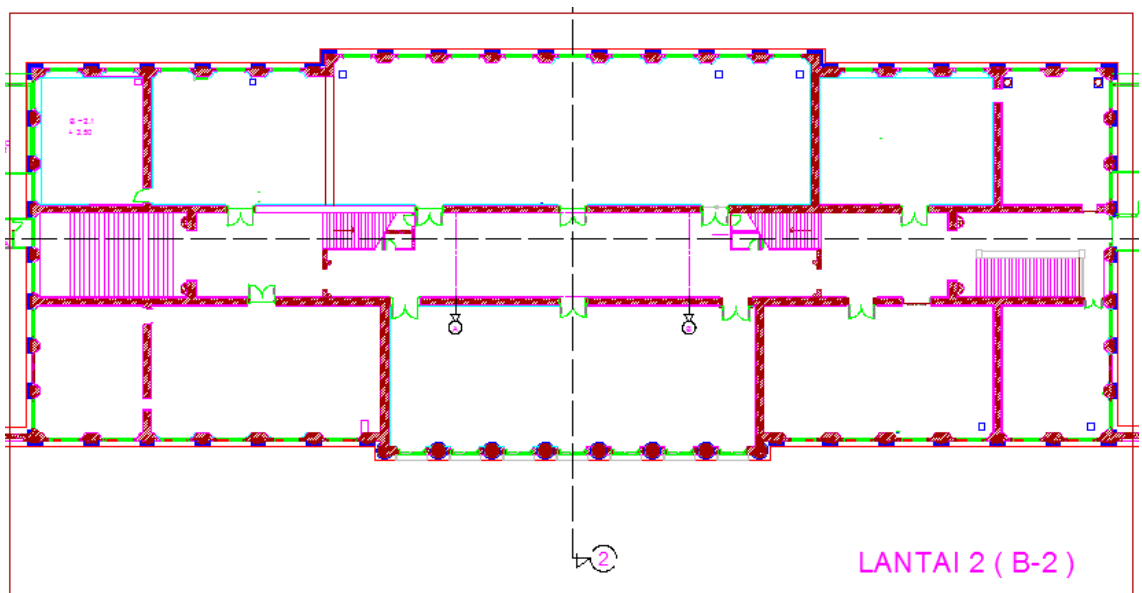
Contoh Pelaporan Hasil Scanning Interior Bangunan

Scanning interior bangunan dilakukan berdasarkan ruang per ruangan, *scanning* dilakukan pada sisi lantai bangunan, dinding dan plafon, dengan objek pengamatannya adalah karakteristik visual terkait dengan kerusakan bangunan, yang meliputi kelapukan, deformasi, retak (tembus atau rambut), serta kerusakan lainnya yang dapat dipantau oleh mata.

Scanning dilakukan pada bangunan utama lantai tiga dan lantai dua, kurang lebih 2/3 bangunan utama telah dilakukan *scanning*, gambar denah dari lantai tiga dan lantai dua ditunjukkan oleh Gambar 42 dan Gambar 43.



Gambar 42 Gambar denah Lantai Tiga setelah dilakukan pengupasan



Gambar 43 Gambar denah Lantai Dua, setelah dilakukan pengupasan

Deformasi Lantai dan Balok lantai

Permukaan lantai bangunan sudah tidak rata, selain disebabkan oleh adanya penambahan *finishing* tambahan pada lantai tersebut, yang telah dibuka. Permukaan lantai 100% harus dilakukan perbaikan dengan menghaluskan kembali, untuk itu satu persatu lantai harus dibuka dan diperbaiki di workshop.

Pelapukan Lantai dan Balok Lantai

Bahan lantai yang terdiri dari penutup lantai dan balok penopang lantai, termasuk *finishing* lantai, merupakan objek pengamatan. Indikator yang digunakan adalah kondisi bahan lantai yang masih dapat digunakan dengan kerusakan minor, maka dinyatakan “**Baik**”. Kondisi bahan bangunan yang dapat digunakan kembali akan tetapi masih harus melalui perbaikan terlebih dahulu, maka dinyatakan sebagai “**Diperbaiki**”, dan kondisi bahan yang tidak dapat digunakan dengan berbagai alasan seperti lapuk, retak struktural, dan alasan apapun yang bila digunakan akan membahayakan, maka bahan tersebut dinyatakan “**Rusak**”.

Gunakan indikator tersebut dalam pengamatan dan dari hasil pengamatan pada R.12. Metode penguraian hasil pengamatan dapat mengikuti contoh seperti pada Tabel 9.

Tabel 9 Contoh format tabulasi hasil pengamatan Lantai Ruang R.12

No.	Bahan	Kondisi Pengamatan (dlm % atau m ²)			Keterangan
		Baik	Diperbaiki	Rusak	
1.	Bahan finishing lantai	...			
2.	Penutup lantai		...		
3.	Balok Girder			...	
4.	Bbalok Binder				...
5.	Balok Bridging			...	

Rekapitulasi pekerjaan perbaikan dan perkuatan lantai beserta besar volumenya dapat disampaikan mengikuti contoh tabel berikut

Tabel 10 Rekapitulas Perbaikan dan Perkuatan Lantai R.12

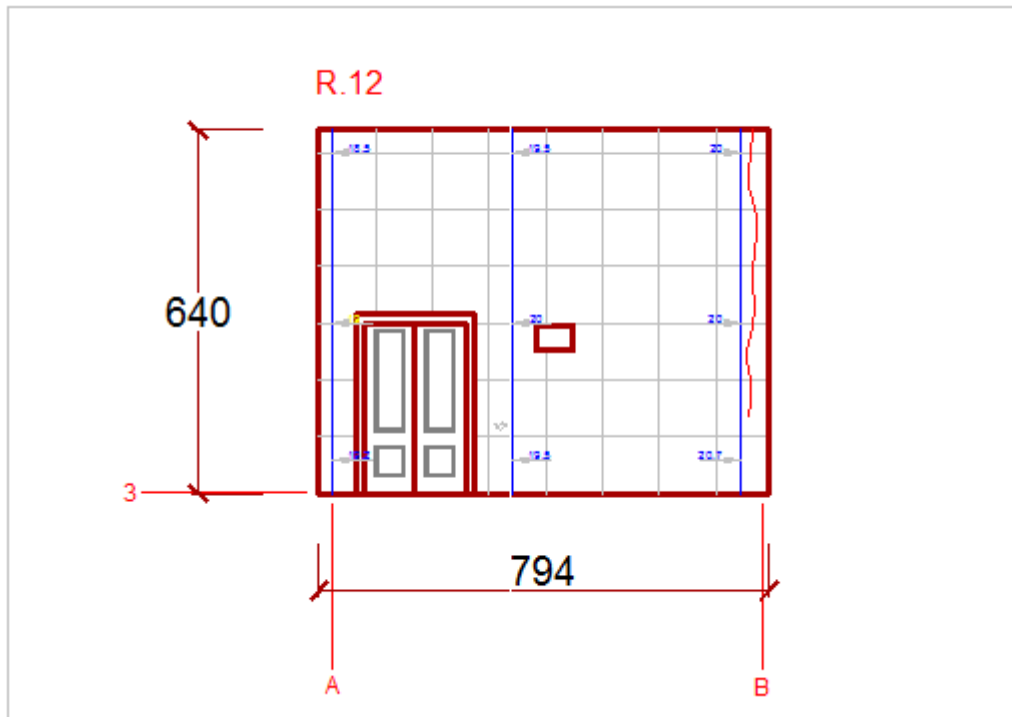
No.	Item Pekerjaan	Volume	Satuan	Keterangan
1.	Pembukaan penutup lantai papan	80	m ²	
2.	Perbaikan Tumpuan Balok Girder	2	ttk	
3.	Perbaikan Balok Girder	1	btg	
4.	Perbaikan Tumpuan Balok Binder	4	ttk	
5.	Perbaikan Balok Binder	2	btng	
6.	Perbaikan Tumpuan Balok Bridging pada Dinding luar	12	ttk	
7.	Perbaikan Tumpuan Balok Bridging pada Dinding dalam	12	ttk	
8.	Perbaikan Tumpuan Balok Bridging pada balok Binder	24	ttk	
9.	Perbaikan balok Bridging	24	btg	
10.	Perbaikan Lantai Papan	34	papan	
11.	Pengadaan Lantai Papan Baru	6	papan	
12.	Pemasangan lantai Papan Baru	40	papan	

Pelapukan dan retakan dinding

Pengamatan pada empat sisi dinding pasangan bata, pengamatan atas kondisi bahan *finishing* dinding (cat), plesteran, pasangan bata meliputi bahan bata merah dan spesi, karakteristik yang diamati meliputi; kondisi retakan (rambut atau tembus) dan pelapukan bahan plesteran, spesi dan bata merah.

Contoh tinjauan Dinding As 3

Dinding As 3, seperti ditunjukkan oleh Gambar 44.



Gambar 44 Dinding As 3, hasil pengamatan visual

Plesteran

Kondisi plesteran pada seluruh permukaan sudah mengalami pelapukan serta kerusakan akibat penambahan pelapis dinding, sehingga menimbulkan lubang-lubang pada dinding pasangan bata bekas pemasangan klos, selain itu kelembaban yang ditimbulkan oleh kelembaban juga sudah tampak pada plesteran. Plesteran direkomendasikan untuk dikupas seluruhnya, luas plesteran yang dikupas adalah 50 m², sama dengan pekerjaan plesteran baru sebesar 50 m². Profil lama yang berada pada dinding harus digambar ulang dan dikerjakan dengan profil baru dikembalikan seperti aslinya.

Dinding Pasangan Bata

Kondisi dinding pasangan bata telah mengalami retak tembus sepanjang 6 meter pada sisi dekat dengan As B, secara keseluruhan spesi dan bata masih dalam kondisi baik, rekomendasi perbaikan dinding pasangan adalah; setelah dikupas plesteran, maka pekerjaan penyambungan dinding yang retak dengan *grouting* harus dilakukan, telah pekerjaan *grouting* dilakukan dilanjutkan dengan pekerjaan anti karbonasi, dengan langkah-langkah mengikuti kaidah/metoda perbaikan, selanjutnya dipasang plesteran baru.

Cara menyampaikan rekapitulasi pekerjaan perbaikan dan perkuatan dinding As. 3 dapat disajikan mengikuti contoh pada Tabel 11.

Tabel 11 Rekapitulasi pekerjaan Perbaikan dan Perkuatan Dinding As.3

No.	Item Pekerjaan	Volume	Satuan	Keterangan
1.	Pengupasan Plesteran Lama	50	m ²	
2.	Pembersihan Permukaan dinding bata terbuka	50	m ²	
3.	Grouting retakan tembus Dinding	6	m ¹	
4.	Pelapisan anti Karbonasi	50	m ²	
5.	Pekerjaan Plesteran baru	50	m ²	
6.	Pekerjaan Profil Dinding		m ¹	

Pada dinding As 3, terdapat sebuah pintu, yang merupakan artefak yang harus dipertahankan, kondisi rangka pintu alam kondisi baik serta dua buah daun pintu masih dapat digunakan dan masih berfungsi, kelengkapan pintu, handel dan kunci tidak berfungsi dengan baik, slot pintu perlu diperbaiki, serta engsel sudah mengalami keausan sehingga engsel-engsel pintu harus diperbaiki terlebih dahulu. Selanjutnya rincian pekerjaan perbaikan pintu pada dinding As 3 dapat disampaikan dengan contoh format tabulasi sebagai berikut:

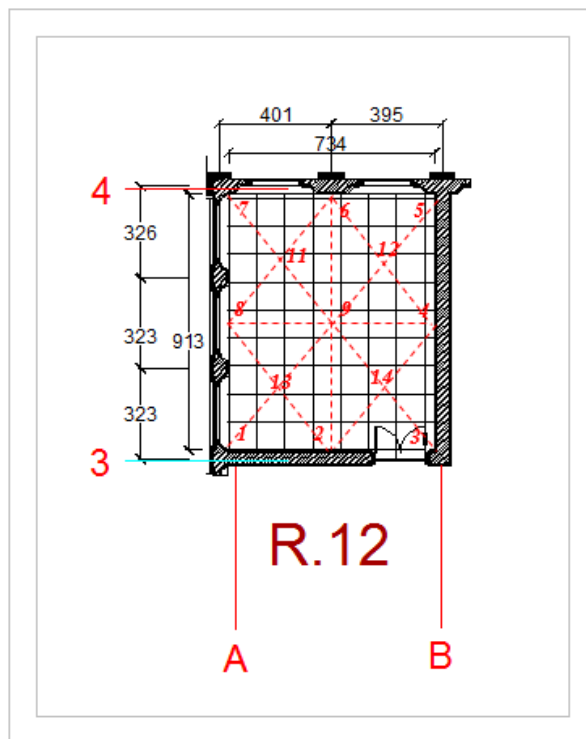
Tabel 12 Rekapitulasi Pekerjaan perbaikan Kusen Pintu As.3

No.	Item Pekerjaan	Volume	Satuan	Keterangan
1.	Pelepasan daun pintu	2	bh	
2.	Perbaikan daun pintu	2	bh	
3.	Perbaikan Rangka Kusen Pintu	1	bh	Pengelupasan cat, penggantian bagian rangka yang cacat,
4.	Perbaikan engsel	6	bh	Engsel yang rusak diganti
5.	Perbaikan/penggantian kunci pintu	1	bh	
6.	Perbaikan/penggantian handle pintu	1	bh	
7.	Perbaikan/penggantian slot pintu	1	bh	
8.	Pemasangan daun pintu kembali	2	bh	
9.	Proteksi anti termite		ls	
10.	Finishing kusen dan dan pintu			Finishing ditentukan dalam pekerjaan tersendiri

Pelapukan Plafon dan Rangka Plafon

Bahan penutup plafon adalah papan dengan ukuran rata-rata 30-40 tebal 4 cm dan panjang 5 meter. Papan plafon disusun ke arah memanjang bangunan. Kerusakan utama pada penutup plafon adalah pada sisi dinding yang berbatasan dengan ruang luar, serta pada bagian talang vertikal. Talang vertikal merupakan elemen bangunan tambahan, untuk itu direkomendasikan talang vertikal dipindahkan ke desain asal.

Papan penutup plafon ditopang oleh rangka balok yang digantung ke balok lantai, ukuran rangka plafon rata-rata 20/20, dengan arah melintang bangunan, atau sejajar dengan balok girder pada balok lantai. Kondisi umumnya tumpuan balok plafon pada sisi dinding yang berbatasan dengan luar bangunan mengalami kerusakan.



Gambar 45 Denah Plafon R.12

Plafon pada Ruang R.12 tidak dilengkapi dengan ornamen, kondisi kerusakan pada penutup plafon mencapai 30% dari aspek bahan papan, sedangkan kerusakan finishing cat sudah 100%. Dengan demikian, penutup plafon harus diperbaiki, jumlah perbaikan mencapai 100%, sehingga seluruh penutup plafon agar dibuka dan diperbaiki di *workshop*, setelah penutup plafon terbuka maka perbaikan dilakukan pada rangka plafon, termasuk dudukan agar bidang penutup plafon datar kembali. Contoh penyampaian rekapitulasi hasil pemeriksaan komponen plafon dapat mengikuti format pada tabel berikut.

Tabel 13 Rekapitulasi Perbaikan dan Perkuatan Plafon Ruang R.12

No.	Item Pekerjaan	Volume	Satuan	Keterangan
1.	Pembukaan penutup Plafon papan	80	m ²	-
2.	Perbaikan Tumpuan Balok Induk	2	ttk	-
3.	Perbaikan Balok Induk Rangka Plafon	1	btg	-
4.	Perbaikan Tumpuan Balok Induk	4	ttk	-
5.	Perbaikan Balok Anak	2	btng	-
6.	Perbaikan Tumpuan Balok Induk pada Dinding luar	12	ttk	-
7.	Perbaikan Tumpuan Balok Induk pada Dinding dalam	12	ttk	-
8..	Perbaikan Plafon Papan	34	papan	Dikerjakan di workshop
9.	Pengadaan Plafon Papan Baru	6	papan	-
10.	Pemasangan rantai Papan Baru	40	papan	-

Contoh Rekomendasi

Rekomendasi teknis dirumuskan berdasarkan temuan-temuan dari hasil pemeriksaan, yang harus ditindaklanjuti baik berupa pemeriksaan lebih lanjut atau jenis-jenis penanganan yang diperlukan. Adapun **contoh** rekomendasi yang dirumuskan dalam kasus pemeriksaan Gedung AA Maramis diantaranya adalah sebagai berikut :

- a. Kupas seluruh plesteran bangunan, dan tambahkan bahan anti karbonasi pada dinding pasangan bata, kemudian buat plesteran baru. Dua metoda pembuatan plesteran baru, gunakan dinding bernapas atau lindungi bangunan dari air. Kedua metoda tersebut membutuhkan penelitian mendetail terkait dengan dampak positif dan negatif penggunaan metoda tersebut. Ornamen tidak boleh dihilangkan, harus seperti asli, meskipun beberapa ornamen telah hilang, namun dapat dipetakan pada sisi bangunan lainnya yang memiliki tipologi yang sama.
Perbaikan dan pengupasan plesteran tidak diperkenankan dilakukan secara serentak, lakukan ruang per ruang pada sisi-sisi yang bersebrangan (*opposite*) dengan tujuan tidak mengganggu titik berat bangunan.
- b. Perbaiki seluruh permukaan penutup lantai, haluskan kembali dengan memperbaiki setiap papan lantai di workshop. Papan lantai memiliki sifat dan fungsi terhadap struktur bangunan adalah sebagai membran untuk mengkekukan bangunan, sehingga ketika perbaikan dilakukan, harus dilakukan secara bagian per bagian, jangan lakukan pembongkaran penutup dan balok lantai secara serentak, akan tetapi lakukan ruang

per ruang secara bergantian pada dua sisi, dengan tujuan tidak mengubah titik berat bangunan ketika proses perbaikan.

- c. Perbaiki ketegakan dan kelurusan balok-balok lantai, dengan diawali memperbaiki tumpuan atau bidang perletakan pada dinding bangunan, gunakan bahan yang kedap air pada sisi perletakan, agar air dari luar tidak masuk kedalam balok kayu.
- d. Lakukan perbaikan daya dukung tanah, mengingat kondisi tanah pada sekitar bangunan sudah mengalami intrusi air laut, yang dapat merusak pondasi cerucuk kayu galam maupun merusak pondasi pasangan bata.

BAB V. Konsep Metode Praktis Perbaikan dan Perkuatan (Contoh kasus: Pemeriksaan Gedung AA Maramis)

Ketentuan Umum

Forum ahli harus segera dibentuk, yang bertugas untuk menentukan lembaga yang diberikan kewenangan untuk memberikan keputusan teknis dalam penanganan perbaikan dan perkuatan. Lembaga yang ditunjuk diperkenankan dalam pengambilan keputusannya melakukan dengan pendapat dari ahli dibidangnya.

Perlu ada kesepakatan mengenai ketentuan konservasi bangunan cagar budaya, untuk ditentukan dikembalikan kepada periode yang mana. Mengingat bangunan ini telah dilakukan perbuahan dan pembangunan secara bertahap.

Indikator Penggantian Bahan Bangunan

Identifikasi karakteristik bahan bangunan, merupakan tahap awal yang harus dilakukan, terutama bahan-bahan bangunan yang tidak boleh mengalami pergantian, yang dapat menurunkan nilai dari bangunan cagar budaya.

Pertimbangan pergantian bahan harus berdasarkan pertimbangan keselamatan bangunan, yakni menyangkut keandalan struktur dan bahaya kebakaran. Untuk itu beberapa material yang dapat menambah beban tambahan pada bangunan sebaiknya dihilangkan terlebih dahulu, seperti bahan penambahan partisi pembagi ruangan, bahan plafon tambahan, atau ruang-ruang tambahan seperti ruang rapat yang terletak di lantai mezanin. Selain itu penggunaan bahan bangunan seperti baja profil pada lantai tertentu juga harus segera dianalisis kelayakannya, termasuk beban penutup atap seperti genteng beton.

Pemilihan material pengganti, selain mempertimbangkan aspek nilai cagar budaya serta beban mati pada bangunan, juga harus mempertimbangkan aspek biaya, dimana biaya akibat pergantian bahan harus mengedepankan rasionalitas, sehingga kepatutan harga yang diajukan tidak menjadikan beban yang terlalu besar bagi anggaran negara (APBN).

Pemilihan bahan bangunan harus mempertimbangkan aspek kelestarian lingkungan. Tidak menggunakan bahan bangunan yang dapat mengganggu ekosistem, termasuk bahan bangunan yang tidak mengandung limbah B3, yang dapat mengganggu lingkungan maupun manusia. Pemilihan bahan pengganti harus dilakukan persetujuan tenaga ahli yang kelak akan dibentuk pada saat perencanaan pemugaran bangunan dilakukan. Pembentukan tim

tersebut harus meliputi tenaga ahli dari pemerintah, perguruan tinggi, asosiasi profesi, dan masyarakat.

Ketentuan Bahan Bangunan

Bahan plester

Bahan plester tidak perlu dipertahankan, selain kondisinya yang sudah sebagian besar lapuk 70%, juga kehalusan permukaan dari plester tersebut sudah tidak nyaman untuk dilihat (estetika), 100% plester sisi interior telah berlubang dan cacat akibat dari pemasangan rangka pelapis dinding dan partisi.

Bahan plester yang ada sebagian sudah diperbaiki, namun penanganannya kurang menunjang aspek homogenitas dengan material yang lama. Ketika dilakukan pekerjaan plester campuran yang digunakan tampak tidak terjadi ikatan yang baik, sehingga beberapa retakan rambut, atau karakter permukaan menjadi tidak datar.

Bahan plester yang digunakan sebagai pengganti harus sesuai dengan hasil penelitian komposisi bahan plester. Metoda yang dilakukan dengan menggunakan metoda SEM.

Berdasarkan data pengukuran sifat fisik plester dinding bangunan induk bagian dalam, terdiri dari kandungan pasir 50% - 64%, bubukan bata (semen merah) 16% - 33%, dan bahan lain (kapur) 6% - 23% (pasir : semen merah : kapur adalah 2 : 1 : 1). Unsur-unsur lain meliputi; karbonat (CO_3) 37,10%, silika (SiO_2) 17,74%, kalsium (Ca) 15,43%, magnesium (Mg) 11,4%, besi (Fe) 4,69%, alumunium (Al) 2,02%, sulfat (SO_4) 3,49%, dan khlor (Cl) 0,15%.

Sifat fisik plesteran dinding bagian luar, terdiri dari pasir 39% - 55%, semen merah 13% - 27%, kapur 18% - 48%. Unsur-unsur lain meliputi; karbonat (CO_3) 25,67%, silika (SiO_2) 19,66%, kalsium (Ca) 13,22%, magnesium (Mg) 9,91%, besi (Fe) 6,36%, alumunium (Al) 6,47%, sulfat (SO_4) 2,30%, dan khlor (Cl) 0,14%.

Bahan Spesi Pasangan Bata

Selain bata merah itu sendiri, kekuatan dinding terdapat pada kekuatan spesi. Sifat fisik dari spesi terdiri dari 67% pasir, 9% semen merah, dan 24% kapur, atau setara dengan komposisi campuran 1 : 2 : 1 (pasir : semen merah : kapur).

Bahan penutup lantai

Bahan penutup lantai harus menggunakan bahan papan penutup lantai asli, dengan perbaikan terlebih dahulu, khususnya menyangkut kehalusan permukaan. Idealnya perbaikan papan harus dilakukan satu per satu dengan melakukan pelepasan lantai papan dari posisinya.

Penggantian papan dilakukan bilamana lantai papan tersebut sudah mengalami pelapukan dan tidak memungkinkan digunakan kembali. Jenis dan ukuran papan yang digunakan harus

sesuai dengan jenis dan ukuran papan yang sama dengan sebelumnya. Jenis dalam hal ini diatur berdasarkan kekuatan dan keawetan kayu.

Bahan penutup plafon

Bahan plafon yang digunakan adalah bahan papan yang ada. Perlu ada perbaikan papan plafon, yang dilakukan di *workshop* untuk itu bagian-bagian papan yang mengalami kerusakan diturunkan dari tempatnya.

Papan plafon yang mengalami kerusakan berupa pelapukan, diganti dengan bahan papan yang memiliki kualitas dan jenis yang sama, terutama terkait dengan ukuran dan kekuatan serta keawetannya, dengan papan plafon asli.

Balok lantai

Balok lantai tetap menggunakan balok-balok yang ada, tidak diperkenankan mengganti balok lantai dengan bahan lainnya, kecuali pada balok lantai yang telah mengalami kerusakan akibat pelapukan lebih dari $\frac{1}{4}$ bagian dari bentang kayu atau balok yang telah mengalami retakan melintang serat kayu.

Pada lantai-lantai tertentu telah ada pergantian dari balok lantai kayu diganti dengan balok lantai baja profil I. pada kondisi ini perlu dilakukan penggantian kembali dengan menggunakan balok kayu dengan spesi dan ukuran yang sama. Jika tidak ditemukan balok kayu yang diperlukan, dapat dilakukan analisis lebih lanjut, dengan sasaran informasi bahwa berat baja profil I pengganti balok kayu harus memiliki berat/bobot kurang dari atau sama dengan balok kayu yang disubstitusikan. Bilamana kondisi tersebut tidak terpenuhi maka tindakan segera yang harus dilakukan adalah dengan mengganti balok baja profil I dengan balok yang lebih ringan, misalkan dengan menggunakan profil baja berlubang (*honeycomb*).

Balok plafon

Balok plafon tetap menggunakan balok kayu asli. Pada beberapa ruang telah kehilangan balok aslinya akibat kegiatan renovasi pada tahun-tahun tertentu yang tidak terdata. Untuk itu, langkah-langkah yang harus dilakukan adalah mengganti dengan balok kayu yang serupa atau setara, bila tidak ditemukan dapat menggunakan salah satu balok kayu rekayasa, LVL (*Laminated Veneer Lumber*), dengan ukuran, kekuatan serta keawetan yang sama dengan balok aslinya.

Penggantian bahan balok plafon, bila tidak dapat ditemukan balok pengganti seperti di atas, maka dapat menggunakan balok baja ringan, namun perlu terlebih dahulu disepakati dengan pihak cagar budaya.

Balok kusen pintu dan jendela,

Balok kayu rangka kusen pintu dan jendela, tetap menggunakan balok yang ada, pada kerusakan ringan balok kusen harus diperbaiki terlebih dahulu dan tidak diperkenankan mengganti balok yang ada.

Pada kondisi kerusakan berat pada rangka kusen pintu atau jendela, maka pergantian balok kayu harus menggunakan ukuran, tipe kekuatan, serta keawetan yang sama dengan balok pengganti. Untuk mendapatkan ukuran yang tertentu sesuai dengan ukuran rangka kusen asli, maka dapat menggunakan kayu rekayasa (LVL), namun persyaratan keawetan, kekuatan serta dimensi harus tetap sama.



Gambar 46 Bahan Bangunan kayu olahan (LVL), sebagai alternatif pengganti kayu solid

Tidak diperkenankan mengganti rangka kusen dengan bahan-bahan lain selain bahan berbasis kayu, upayakan menggunakan kayu solid untuk kusen, pemilihan kayu olahan untuk mendapatkan dimensi kayu yang diinginkan bila tidak didapatkan bilamana penggunaan kayu solid sulit untuk ditemukan. Gunakan dasar sebagai pertimbangan pemilihan bahan adalah rasionalitas harga dan keawetan bahan pengganti.

Daun pintu dan jendela

Kerusakan daun pintu dan daun jendela, dilakukan perbaikan tidak diperkenankan adanya pergantian bahan daun pintu dan jendela dengan menggunakan bahan lain selain bahan kayu.



Gambar 47 Jendela yang masih asli dan jendela yang sudah mengalami perubahan

Pada bagian daun pintu dan daun jendela yang telah hilang akibat penggantian dengan kaca nako (misalnya) maka daun pintu dan daun jendela harus dikembalikan kepada desain daun pintu dan jendela yang sama dengan bentuk dan ukuran seperti aslinya.

Penutup atap

Bahan penutup atap genteng beton, yang saat ini digunakan adalah bukan bahan asli seperti pada pembangunan awal. Bahan asli yang digunakan pada tahap awal pembangunan datanya belum didapatkan, akan tetapi dari penggalian sejarah pembangunan pada masa tahun bangunan tersebut dibangun, yaitu tahun 1806, akan diperkirakan bahan-bahan yang digunakan adalah bahan genteng keramik (seperti palentong) yang lebih ringan dari genteng yang terpasang pada saat ini.



Gambar 48 Contoh bahan atap yang ringan dan masih harmonis dipadukan dengan bangunan AA Maramis

Mengingat kondisi struktur bangunan secara keseluruhan yang telah mengalami degradasi akibat faktor usia bangunan, maka penggunaan bahan genteng beton sudah tidak direkomendasikan kembali, untuk itu disarankan menggunakan bahan-bahan seperti sirap, baik itu sirap kayu maupun sirap dengan bahan imitasi, yang saat ini sudah banyak seperti bahan berbasis bitumen. Selain lebih ringan bahan-bahan tersebut juga dapat meningkatkan *performance* bangunan, dan lebih aman dari beban gempa.

Balok kuda kuda

Balok kuda-kuda serta kelengkapan lainnya, seperti gording, usuk dan reng, harus menggunakan bahan bangunan asli. Bila terjadi kerusakan maka penggantian bahan bangunan tersebut harus menggunakan bahan yang setara dengan bahan asli, baik menyangkut dimensi, kualitas kekuatan serta keawetan bahan harus sama.

Bila harus dilakukan pergantian bahan dengan bahan di luar bahan yang menyerupai bahan asli, maka pergantian tersebut harus mempertimbangkan beban tambahan dari bahan bangunan tersebut. Bahan pengganti tidak boleh lebih berat dari bahan asli, serta bahan pengganti harus memiliki kekuatan dan keawetan minimal sama dengan bahan asli.

Catatan

Pihak (baik individu maupun lembaga) yang dapat mengizinkan masalah penggantian bahan bangunan bila dimungkinkan, segera dibentuk Tim ad-hoc, ketika pekerjaan perencanaan dilaksanakan. Pembentukan tim ad-hoc dibentuk berdasarkan ketetapan dari pihak Kementerian Keuangan selaku pemilik bangunan.

Perbaikan dan Perkuatan Pondasi

Cek apakah terjadi penurunan bangunan, pastikan bahwa bangunan tidak mengalami deformasi atau perubahan bentuk secara keseluruhan. Adanya perubahan bentuk pada bangunan baik pada sebagian sisi bangunan atau secara keseluruhan, dapat digunakan sebagai salah satu indikator terjadi gangguan pada pondasi bangunan. Untuk itu data *scanning* I Eksterior, harus digunakan sebagai bahan rujukan utama dalam melakukan analisis pondasi, sebagai bahan pertimbangan perencanaan perbaikan maupun perkuatan yang diperlukan pada pondasi bangunan.

Cek apakah terjadi perubahan muka air tanah, termasuk apakah terjadi perubahan sifat kimia dari air tanah, khususnya kandungan garam. Kerusakan pondasi dapat disebabkan oleh adanya perubahan sifat fisik dan sifat kimia dari material tanah tempat pondasi dan bangunan tersebut berada.

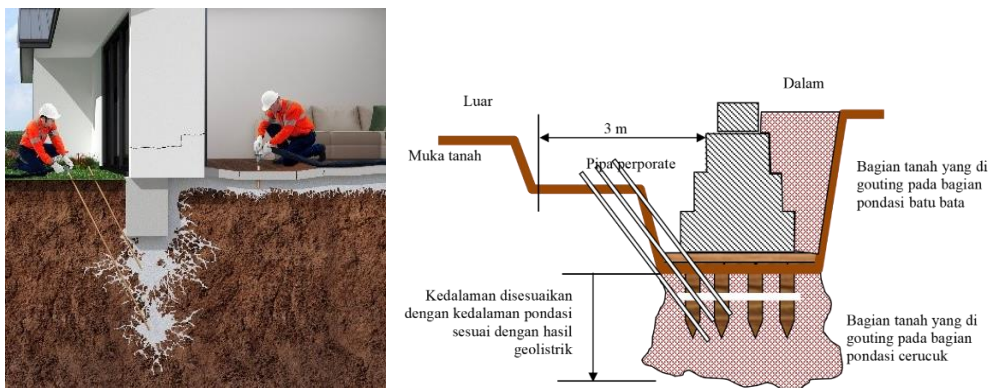
Perubahan sifat dari tanah dapat disebabkan oleh eksploitasi air tanah yang berlebihan pada kawasan sekitar, sehingga mengakibatkan intrusi air laut masuk ke daratan, intrusi air laut dapat meningkatkan kadar garam pada air tanah disekitar pondasi. Garam merupakan material yang dapat mengakibatkan pelapukan pada beberapa bahan bangunan seperti bahan bata merah dan kayu.

Ekstremnya muka air tanah juga dapat merusak pondasi dalam jangka waktu tertentu, untuk itu pemeriksaan muka air tanah pada saat kemarau dan pada saat musim penghujan harus dilakukan. Pondasi cerucuk pada bagian bawah pondasi sebaiknya selalu terendam air. Bila pondasi cerucuk kadang terendam kadang kering, maka peristiwa tersebut dapat mengakibatkan terjadinya pelapukan pada pondasi cerucuk, bila hal demikian terjadi maka perlu dilakukan *treatment* pada pondasi cerucuk tersebut atau menambahkan bahan-bahan kimia pada tanah sekitar pondasi cerucuk agar kondisi kayu pondasi dapat dipertahankan sifat fisik dan kimianya.

Lakukan perbaikan tanah, agar gangguan kehandalan pondasi dapat dikurangi. Untuk melakukan perbaikan pondasi, sebaiknya yang ditreatmen adalah tanah tempat dimana pondasi tersebut berdiri. Untuk itu perbaikan tanah harus segera dilakukan dengan menggunakan bahan-bahan *grouting* untuk perbaikan tanah tempat dudukan pondasi. Pekerjaan grouting perlu segera dilakukan, meskipun dari hasil pemeriksaan (*scanning I*) menunjukkan bahwa posisi bangunan belum mengalami perubahan, namun diindikasikan perubahan sifat fisik, mekanik, dan kimia dari tanah dan air tanah sudah terjadi, dan lambat laun dapat merusak pondasi.

Perbaikan konstruksi pondasi (*underpinning of foundations*), harus memperhatikan kondisi lapangan, hal-hal yang menjadi pertimbangan dalam penanganan perbaikan pondasi adalah sebagai berikut;

- a) Identifikasi tahap pertama melalui kerusakan pondasi. Apakah pondasi telah mengalami penurunan atau retakan yang ditunjukkan oleh konstruksi dinding di atasnya. Pemeriksaan geometrik bangunan harus dilakukan terlebih dahulu, sebagai dasar untuk menentukan kerusakan pondasi.
- b) Identifikasi tahap kedua melalui perubahan sifat fisik, kimia, dan mekanik dari tanah dan air tanah. Apakah pondasi berada pada tanah dan air tanah yang dapat mengancam kerusakan, pelapukan bahan bangunan yang digunakan oleh konstruksi pondasi.



Gambar 49 Metoda Perbaikan tanah dan air tanah, untuk perkuatan pondasi

- c) Apakah pondasi dan seluruh bangunan mengalami penurunan, sehingga permukaan tanah atau batas peil banjir bergeser, sehingga ruang dalam bangunan berada di bawah

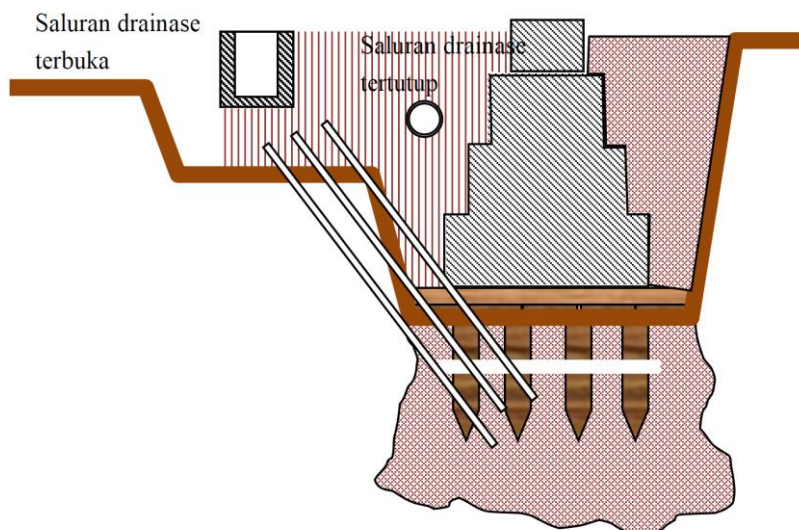
muka tanah. Berdasarkan persyaratan teknis bangunan lantai dasar bangunan harus berada di atas muka tanah lebih besar dari 20 cm.

Kupas tanah permukaan, sampai dengan batas pondasi pada sekeliling bangunan, stabilisasi tanah dilakukan sekeliling pondasi, baik pada pondasi cerucuk maupun pondasi pasangan bata. Bahan grouting (*sodium silicat*) yang digunakan berfungsi untuk membekukan permukaan tanah sekitar pondasi, sehingga air garam tidak tembus ke pondasi.

Metoda ini membutuhkan biaya yang cukup tinggi, namun dari sisi kekuatan memiliki jaminan kualitas dan durabilitas perbaikan dengan waktu yang panjang. Pertimbangan pemilihan metoda ini, didasarkan atas usia bangunan yang harus dapat diperpanjang lebih dari seratus tahun kedepan.

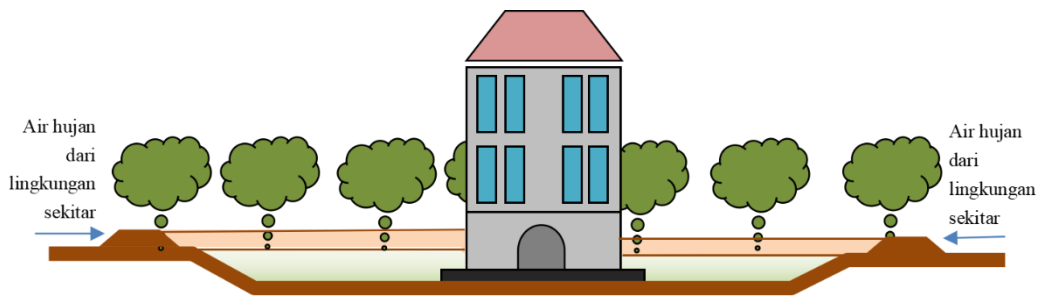
Lakukan perbaikan terhadap drainase bangunan, siapkan sumpit untuk mengeluarkan air hujan yang telah menggenangi bangunan. Bila diperlukan gunakan pintu air agar air dari luar bangunan tidak masuk ke dalam bangunan.

Saluran drainase terbuka, ditujukan untuk memudahkan pengendalian air hujan. Selain itu drainase tertutup untuk pengaman pondasi harus dilakukan perbaikan, diperkirakan akibat usia bangunan, fungsi dari drainase pondasi sudah terjadi penurunan kinerja.



Gambar 50 Perbaikan drainase sekeliling bangunan

Saluran drainase terbuka harus disediakan sekeliling bangunan, sehingga dipastikan bahwa air hujan tidak akan mengganggu bangunan. Saluran drainase bermuara pada sumpit, mengingat bila hujan air hujan masuk dari saluran kota ke site. Untuk itu air dari sumpit dikeluarkan segera dengan pompa.



Gambar 51 . Metoda Polder dengan penanganan landskape yang diturunkan, dilengkapi dengan pengaturan sistem drainase

Untuk menangani *peil* bangunan yang sudah mengalami penurunan, maka secara lansekap dapat dilakukan dengan menurunkan permukaan tanah disekeliling bangunan. Untuk itu perlu dibangun polder pada site. Perencanaan drainase harus dihitung berdasarkan data curah hujan tertinggi. Bila kedua metoda di atas dapat dilakukan maka penanganan bangunan cagar budaya apat dinyatakan sebagai pendekatan yang ideal.

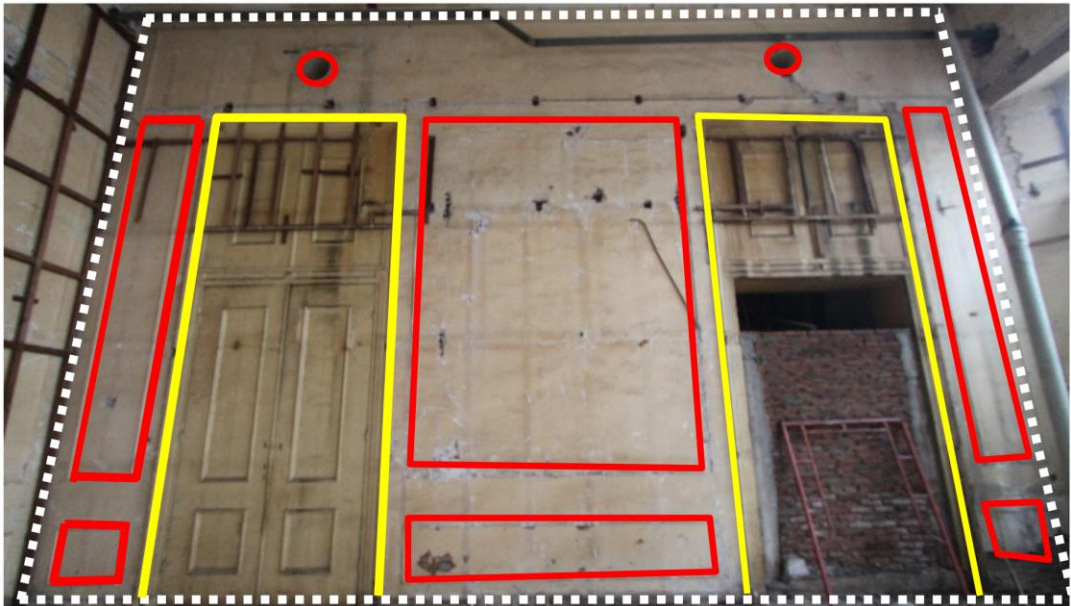
Perbaikan dan Perkuatan Dinding dan Plesteran

Perbaikan Plester

Bersihkan seluruh bagian dinding yang merupakan dinding tambahan, seperti partisi pembagi ruang, bahan lapisan dinding baru yang berbahan kayu lapis, lambersering, atau papan panel. Rangka-rangka sisa yang masih melekat pada dinding pasangan bata (dinding asli) dibersihkan sebelum pekerjaan dimulai.

Penyebab kerusakan dinding meliputi; dinding lembap ditandai oleh plester terkelupas, lembap berjamur/lumut, dan rapuh; kerusakan dinding akibat rembesan air tanah, AC, WC, atau air hujan; kerusakan dinding akibat penambahan ME; kerusakan dinding akibat perbaikan kusen pintu dan jendela; perbaikan dinding akibat penambalan dinding plester dengan material yang berbeda; serta kerusakan pada ornamen dan profil akibat pelapukan serta pekerjaan pengecatan yang bertumpuk.

Rekam pola ukiran dan ornamen yang ada pada permukaan dinding, rekaman dilakukan dalam bentuk gambar tampak permukaan dinding dan gambar detail, gambar detail harus menunjukkan potongan dan tampak dengan skala 1 : 20 sampai dengan skala 1 : 1. Rekaman dilengkapi dengan rekaman foto dan rekaman video pada lima sisi (atas, bawah, kiri, kanan, dan depan).



Gambar 52 Bidang yang akan direkam, sebelum dilakukan pengupasan

Sebelum dilakukan pengupasan, pola ornamen pada keempat bidang dinding harus digambarkan dengan skala 1 : 100, atau 1 : 50, gambar dilengkapi dengan gambar detail penampang dari ornamen, dengan skala 1 : 1 sampai dengan 1 : 10, skala disesuaikan dengan kondisi objek yang akan digambar.

Buat rencana metoda pekerjaan reka ulang ornamen dinding tersebut, termasuk dengan menjelaskan jenis alat bantu yang digunakan untuk membuat ornamen (seperti cetakan bila diperlukan).

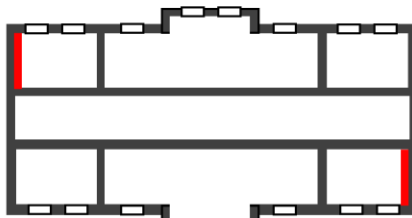


Gambar 53 Pembuatan pola ornamen pada dinding luar bangunan

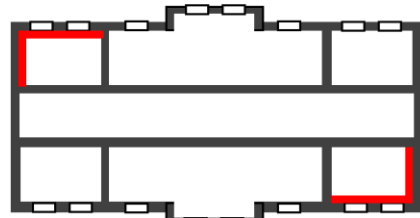
Buat dulu pola ornamen, bahan bangunan untuk ornamen menggunakan bahan bangunan yang sama seperti ornamen asli. Tentukan metoda pembuatan kembali ornamen untuk membentuk seperti bentuk asli. Pembuatan ornamen dengan memanfaatkan alat bantu

diperkenan, alat bantu cetakan bila itu berulang dapat menggunakan cetakan dari pelat baja.

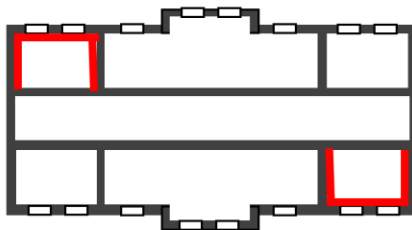
Kupas plester lantai tiga, pada empat sisi bangunan secara serentak, untuk itu harus dibentuk empat grup pekerja dengan kompetensi yang sama, bila tidak memungkinkan maka dibuat dua grup, dengan pekerjaan dimulai dari dua sisi yang saling berseberangan dan berlawanan (*opposite*).



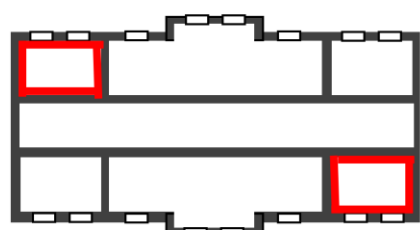
Tahap I, sisi paling luar arah melintang



Tahap II, sisi luar arah memanjang



Tahap III. Sisi dalam arah melintang



Tahap IV, sisi dalam arah memanjang

Gambar 54 Tahapan perbaikan dinding plesteran, dilakukan secara bertahap pada sisi berseberangan, dengan tujuan untuk tidak mengubah titik berat bangunan

Lanjutkan pekerjaan perbaikan plesteran pada ruang sebelah, dan lakukan hal yang sama pada sisi lain, pekerjaan harus dilakukan secara bertahap dan bersama-sama pada dua sisi yang berpasangan, untuk menjaga titik berat bangunan dapat terjaga pada titik asal. Pengupasan dimulai pada dinding-dinding melintang bukan pada arah memanjang, lakukan secara bertahap

Setelah pekerjaan pengupasan dilakukan, periksa kondisi seluruh permukaan struktur pasangan bata, apakah ada yang mengalami; pelapukan, retakan (retak rambut atau retak tembus), cek spesi, apakah ada yang mengalami pelapukan, cek setiap sisi dinding terhadap kadar air dan kelembapan.



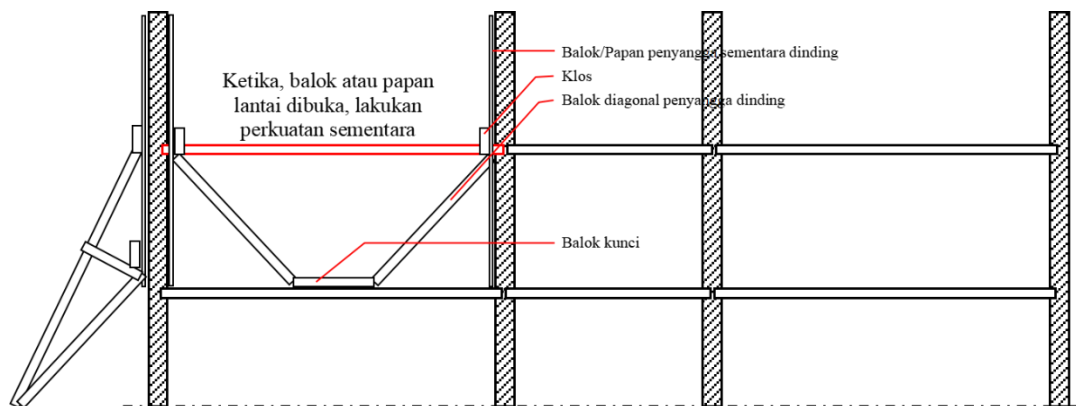
Gambar 55 Setelah pengupasan plesteran dinding dibersihkan dengan sikat kawat

Mortar yang digunakan harus bersifat *porous*, hal ini untuk menghindari air terperangkap dalam dinding pasangan bata, sehingga dinding pasangan bata dapat bernafas, untuk itu direkomendasikan menggunakan campuran 1 : 2 : 9 (semen : kapur : pasir).

Perbaikan Dinding Plesteran dan Pasangan Bata

Lakukan treatment pada dinding pasangan bata, bila ditemukan kerusakan, dengan metoda:

- a) Metoda perkuatan pada dinding interior yang mengalami perubahan ketegakan mendekati ambang batas, maka harus dilakukan pemasangan terlebih dahulu balok diagonal.
- b) Gunakan bahan baja siku atau kayu, pada sisi dinding yang akan ditopang letakan papan atau balok kayu, sehingga penyangga diagonal tidak menekan dinding pada satu titik akan tetapi tahanan didistribusikan secara merata pada bidang yang lebih luas dan merata.



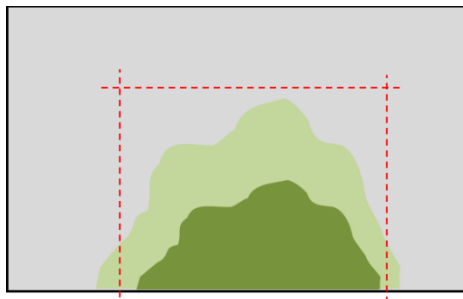
Gambar 56 Metoda penanganan sementara dinding akibat perlemahan lantai (sebagai diafragma

Posisi tumbukan balok diagonal diletakkan pada titik segaris dengan batas lantai, untuk menahan dinding akibat perlemahan plat lantai, sedangkan papan/ distribusi gaya-gaya diratakan oleh papan pada lantai di atas dan di bawahnya.

Metoda mengganti dinding pasangan bata bila pasangan bata dan spesi mengalami pelapukan, maka seluruh bidang dinding pasangan bata tersebut harus dilakukan perbaikan, tahapan perbaikan meliputi;

Beri batas yang jelas bidang dinding bata yang mengalami pelapukan, sesuai dengan hasil *scanning*. Beri batas bidang pasangan bata yang akan kupas dengan garis warna merah. Untuk memberi batas gunakan bahan spidol atau cat.

Kupas satu persatu bata merah dengan memisahkan bata dari spesi, untuk itu lepaskan spesi dengan menggunakan pahat kecil (ukuran 2 cm), sampai dengan balok melintang yang digunakan tembus dinding pada dinding ruang sisi sebelahnya.



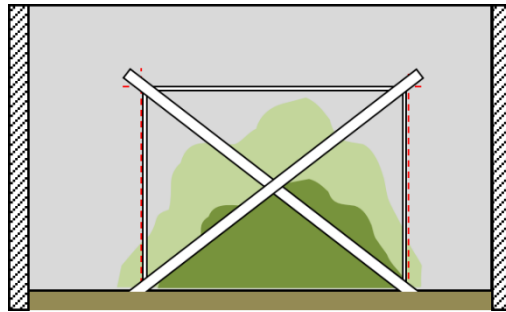
Gambar 57 Contoh menggambarkan batas kerusakan dinding pasangan bata

Bila kerusakan dinding pasangan bata sangat luas, lebih dari 50% permukaan dinding bata berdasarkan batas-batas ruang (lantai, lantai di atasnya/atap, dinding-dinding yang membatasi), maka penanganannya tidak boleh dilakukan sekaligus, harus dilakukan secara bertahap.



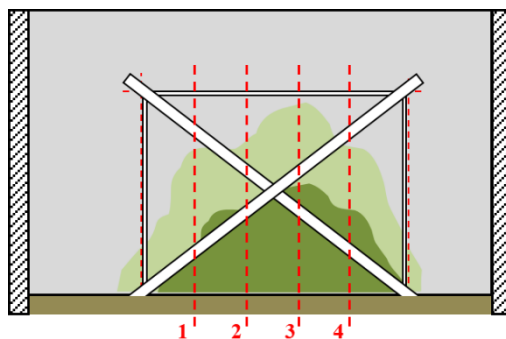
Gambar 58 Palu dan pahat yang digunakan untuk melepaskan elemen bata merah dari dinding pasangan bata (spesinya)

Berikan perkuatan sementara, pada dinding yang mengalami perlemahan dengan menggunakan bahan baja atau kayu. Sifat perkuatan sementara adalah untuk menahan beban sendiri dari beban di atas serta beban horizontal, yang ditahan oleh *bracing*.



Gambar 59 Penanganan tahap awal, balok-balok dipasang pada dua sisi dinding

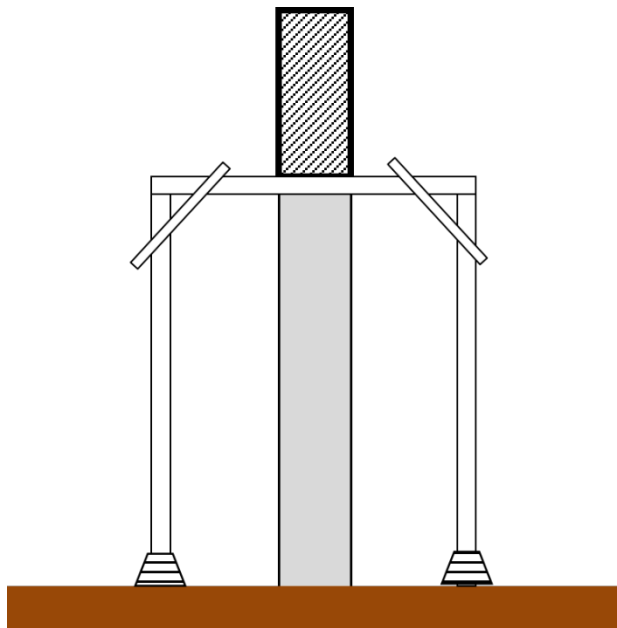
Pasang penyangga dinding bagian atas secara bertahap sebelum dinding yang mengalami pelapukan dibuka seluruhnya.



Gambar 60 Pemasangan penyangga sementara, dinding pasangan bata

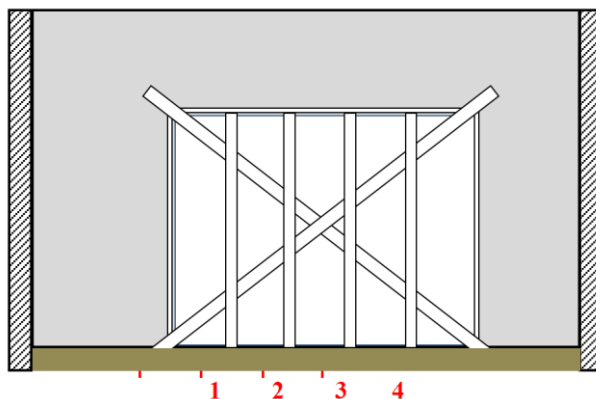
Penyangga dibuat secara bertahap pada setiap jarak 80 cm sampai dengan 120 cm. jangan lanjutkan pengupasan dinding bata merah sebelum balok penyangga terpasang secara sempurna. Kesempurnaan penyangga bilamana setiap balok telah betul-betul menopang dinding bata di atasnya, gunakan papan sebagai perata beban penyangga dinding pasangan bata merah.

Penanganan berbeda dengan perbaikan dinding parapet, pekerjaan perbaikan dinding parapet dimana bahan plesteran, spesi, maupun atau pasangan bata mengalami pelapukan, maka pekerjaan penyangga pada perbaikan dengan metoda membongkar tidak diperlukan balok rangka penyangga. Pada pekerjaan perbaikan dan perkuatan dinding parapet, hal yang harus diperhatikan adalah pekerjaan *copping*, yang harus kedap air, serta sisi dinding yang bersentuhan langsung dengan talang dan hujan.



Gambar 61 Gambar penyangga dinding yang akan dibuka untuk disusun kembali

Setelah penyangga seluruhnya dipasang, dilanjutkan dengan pasangan dinding bata baru, sambungan pasangan bata baru dengan bata lama harus saling mengikat, spesi antara pasangan bata baru dengan pasangan bata lama, pada posisi sambungan tidak diperkenankan satu garis, harus zigzag mengikuti pola susunan pasangan bata lama.



Gambar 62 Bagian dinding yang rusak siap untuk disusun pasangan bata merah baru

Kondisi penanganan di atas berlaku juga untuk dinding lama yang telah dibobok untuk pintu tambahan, seperti diperlihatkan pada Gambar 63 berikut ini; Perbaikan yang harus diperhatikan pada kasus Gambar 63, adalah, susunan bata baru harus dapat bersilangan tidak diperkenankan pasangan bata disusun dalam bentuk satu garis, untuk itu perlu dilakukan pelepasan bata merah pada dinding lama, sehingga membentuk gerigi pasangan bata pada dinding lama.



Gambar 63 Lubang pintu tambahan pada dinding lama, secara struktural lubang tersebut merupakan kelemahan, harus segera ada penanganan

Selanjutnya plester kembali dinding pasangan bata yang telah dilakukan *treatment*. Gunakan plesteran dengan komposisi campuran sebagai berikut; 9 pasir : 2 kapu 1 semen, atau gunakan bahan lain yang setara dan dijamin dapat membuktikan efek kekuatan yang sama.

Pekerjaan plesteran dilakukan setelah tindakan pekerjaan perbaikan dinding pasangan bata dilakukan bila diperlukan. Sebelum pekerjaan plesteran dilakukan, harus mendapat persetujuan terlebih dahulu dari perencana dan *cross* cek terhadap kondisi pasangan dinding.

Perbaikan Dinding Pasangan Bata

Amati sifat dan jenis kerusakan pada pasangan bata, indikasi dari sifat kerusakan dinding pasangan bata, diantaranya:

Pelapukan pada elemen bata merah, pelapukan pada dinding bata hampir tidak ditemukan, bila itu ada, kondisinya tidak signifikan mengganggu kehandalan bangunan secara keseluruhan. Sehingga elemen bata merah pada bangunan lama masih dapat digunakan.

Pelapukan pada spesi, pelapukan pada spesi ditemukan pada beberapa tempat, meskipun pada elemen bata merahnya masih menunjukkan kualitas yang masih baik. Sehingga

perbaikan dinding perlu dilakukan. Metoda yang digunakan untuk perbaikan dinding dengan kondisi spesi yang mengalami pelapukan. Dalam hal ini, bila kondisi bata merah masih baik maka bata merah yang digunakan adalah bata yang sama, namun sebelum dipasang bata tersebut harus direndam terlebih dahulu di dalam air.



Gambar 64 Kerusakan dinding akibat lumut

Tumbuhnya lumut pada dinding bagian atap disebabkan oleh kelembapan karena adanya kadar air yang tinggi dalam dinding yang bersumber dari air hujan.

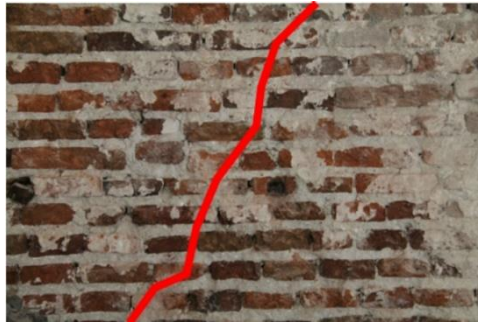
Retakan tembus dinding pasangan

Retak tembus yang terjadi pada pasangan bata merah, yang dipantau ketika plesteran telah dikupas, maka perlu dilakukan penyambungan pasangan bata yang mengalami retak tembus tersebut. Contoh dinding bata yang mengalami retak tembus seperti diperlihatkan pada Gambar 65 di bawah ini;

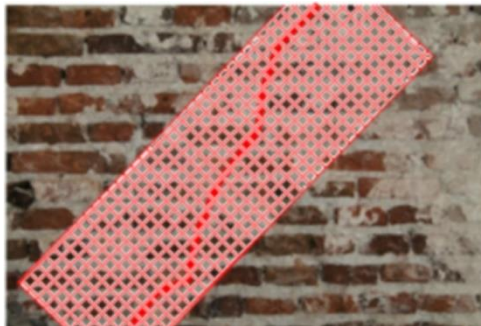


Gambar 65 Contoh dinding yang mengalami retak tembus

Gunakan semen *grouting* yang tidak mengalami susut, *grouting* dilakukan pada dinding yang mengalami retakan, setelah itu tambahkan pada sisi luar dari lapisan pasangan bata dengan kawat ayam atau stek tulangan. Pemilihan jenis perkuatan tersebut tergantung dari kondisi kerusakan atau retakan dinding, pada retakan yang sangat halus penggunaan ram kawat sudah cukup untuk digunakan.



Tahap I. Bersihkan retakan dan tambahkan semen grout pada bagian yang retak.



Tahap II. Setelah ditutup dengan semen grout, beri lapisan ram kawat (kawat ayam) dengan ukuran disesuaikan dengan kondisi kerusakan



Tahap III. Tutup dinding yang retak dengan plesteran baru

Gambar 66 Penanganan retakan pada dinding pasangan bata

Kondisi retakan yang lebih parah maka, sambungan dilakukan dengan menanam angker dari baja pada setiap jarak 30 cm dengan kedalaman $\frac{1}{4}$ dari ketebalan dinding bata pada sisi kiri dan kanan.

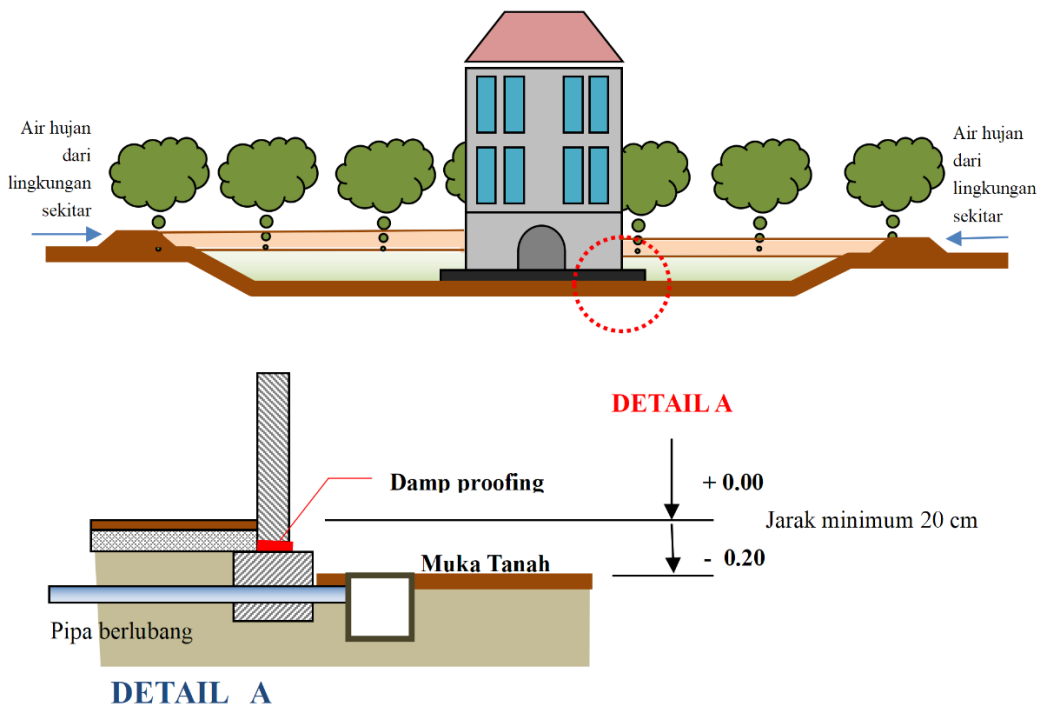
Retak rambut dinding pasangan, untuk perbaikan dinding dengan kondisi retak rambut, perbaikan seperti diuraikan pada perbaikan retak tembus namun pekerjaan *grouting* tidak diperlukan. Pekerjaan langsung dilakukan pada tahap II dan Tahap III.

Kelembapan dan kapilarisasi air tanah akibat muka air tinggi

Sumber kelembapan pada dinding bangunan, adalah adanya kadar air yang terlalu tinggi yang disebabkan oleh, kapilarisasi dari air tanah yang naik melalui pondasi dan dinding, selain itu kelembapan yang bersumber dari atap yang bersumber dari talang air hujan, serta dari kamar mandi tambahan.

Untuk kondisi kelembapan dinding yang disebabkan oleh air tanah yang merembes ke dinding, maka harus dicek kondisi dari *damp proofing* eksisting, apakah rembesan tersebut disebabkan oleh permukaan *damp proofing* eksisting berada di bawah muka air tanah akibat dari penurunan bangunan, atau disebabkan oleh kenaikan muka air tanah.

Metoda perbaikan bila terjadi kenaikan muka air tanah, maka tindakan yang perlu dilakukan adalah dengan mengamankan pondasi dari garam yang dikandung dari air tanah maupun perubahan pasang surut muka air yang mengakibatkan pondasi kadang terendam air kadang kering. Tindakan yang dilakukan adalah dengan melakukan i untuk merubah sifat tanah. Untuk selanjutnya muka tanah di sekeliling bangunan diturunkan mengikuti ketinggian bangunan berdasarkan *peil* lantai dasar, yaitu ketinggian asli dari lantai dasar. Muka tanah baru di sekitar bangunan minimal – 0.20 cm dari *peil* lantai dasar.



Gambar 67 Metoda perbaikan kelembapan bangunan dan dinding lantai dasar, akibat dari kapilerisasi air tanah

Pasang pipa berlubang di bawah lantai bangunan (seperti pada Gambar 67), pipa berlubang berfungsi untuk menangkap air tanah yang berada di bawah bangunan, untuk selanjutnya ditampung dan diarahkan ke samping. Fungsi pipa tersebut untuk menjamin air yang berada di bawah bangunan terjamin tidak terlalu banyak.

Lakukan tindakan perbaikan pada kerusakan dinding bata tersebut, berdasarkan tipe kerusakan; pelapukan bata, pelapukan dinding, pelapukan spesi, retak tambut, retak tembus.

Lakukan tindakan untuk memproteksi aliran air kapiler dari permukaan tanah atau dari lantai dalam, atau dari luar bangunan dan dari atap. Pekerjaan *damp proofing* harus direncanakan terlebih dahulu metoda pelaksanaannya. Apakah akan menambahkan bahan *damp proofing* atau akan menggunakan metoda dinding bernafas, dengan membiarkan air dalam dinding dibiarkan menguap ketika terkena sinar matahari, untuk itu harus memperhatikan bahan cat, jangan menggunakan bahan cat emulsion yang tidak dapat ditembus oleh uap air, sehingga dapat memerangkap air dalam dinding.

Cek muka air tanah, apakah cukup tinggi, sehingga *damp proofing* harus dipasang? Selain ketinggian muka air tanah, juga periksa kadar garam dari air tanah, kandungan garam dalam air dapat merusak mempercepat pelapukan pada bahan bata merah maupun spesi.

Bila kandungan garam melampaui ambang batas, maka lakukan tindakan terlebih dahulu terhadap pengamanan bahan-bahan pondasi, sehingga perlu dilakukan tindakan perbaikan tanah dan air tanah.

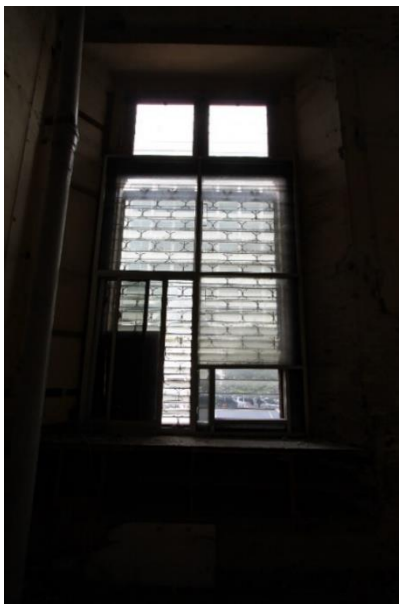
Berdasarkan pengamatan geometrik bangunan, sampai saat ini pada sisi eksterior tidak ditemukan adanya perubahan bentuk, baik bentuk kemiringan, kedataran, maupun rotasi. Masalah yang ditemukan hanya terjadi retakan struktural pada sisi selatan

Cek kondisi pasangan dinding pada bagian perletakan balok-balok lantai maupun balok plafon. Umumnya kerusakan ditemukan pada tumpuan balok lantai maupun balok plafon pada sisi dinding terluar, yang berbatasan dengan sisi luar, penyebabnya diindikasikan akibat air dari luar (hujan). Selain itu beberapa pelapukan terjadi pada balok yang menopang kamar mandi bagian dalam (bangunan tambahan), serta akibat kebocoran talang vertikal maupun talang horizontal dari atap.

Bila ditemukan kerusakan, pada tumpuan balok-balok maka perbaikan harus dilakukan terlebih dahulu sebelum pekerjaan plesteran dilaksanakan.

Perbaikan dan Perkuatan Kusen Pintu Dan Jendela

Cek kerusakan kusen, apakah kerusakan terjadi pada rangka kusen, atau daun pintu jendela, apakah pada asesories seperti engsel, slot, kunci, penggantung.



Gambar 68 Kondisi rangka kusen pintu, beberapa bagian sudah hilang keasliannya

Susun kembali gambar teknis dari kusen pintu dan jendela. Dasar penggambaran kembali mengacu pada beberapa bagian kusen pintu dan jendela yang masih bertahan keasliannya. Gambar dilengkapi dengan detail engsel, slot, handle pintu, hak angin jendela, serta aksesoris lainnya yang melekat baik pada daun pintu maupun daun jendela.

Lakukan perekaman rangka kusen, bentuk dan penampang, lengkapi dengan gambar dan dokumentasi, yang menyangkut detail profil, sistem sambungan, bentuk engsel, sistem angker kusen terhadap dinding.



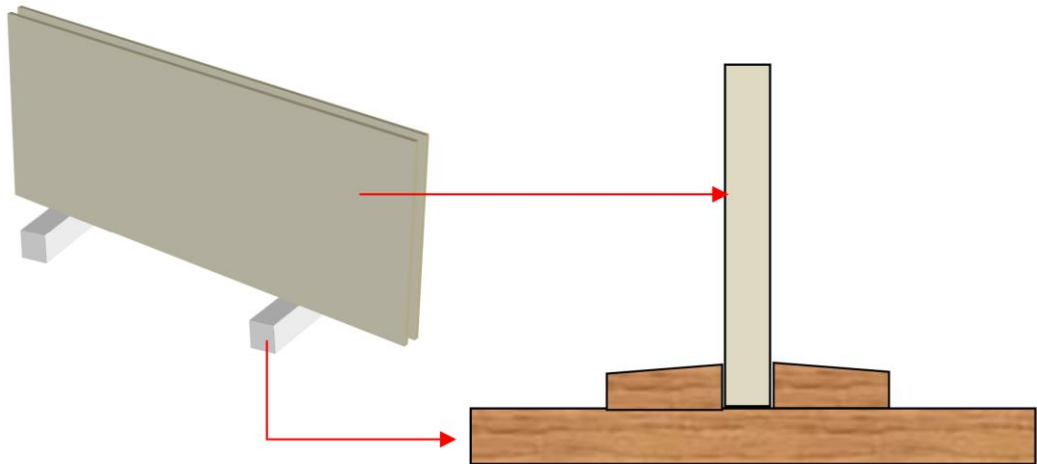
Gambar 69 Asesoris pada komponen pintu dan jendela

Sebelum melakukan perbaikan rangka kusen pintu dan jendela, terlebih dahulu lepaskan seluruh daun pintu maupun daun jendela. Tempatkan daun pintu maupun daun jendela pada tempat yang aman. Beri label pada setiap daun pintu maupun daun jendela, label minimal menginformasikan posisi jendela berdasarkan letak lantai, ruang dan nomor urut dalam ruang.

Kerusakan kusen yang sifatnya tidak menyangkut kekuatan konstruksi kusen, maka perbaikan dilakukan di tempat, indikator untuk kerusakan konstruksi, meliputi, kerusakan pada sistem sambungan antara batang-batang kayu kusen, baik pada rangka kusen maupun panel (daun pintu dan jendela).

Kusen dengan kerusakan konstruksi harus dibuka dan diperbaiki di *workshop*, indikator kerusakan konstruksi, meliputi kerusakan sistem sambungan akibat lapuk, penguat sambungan terlepas, batang utama mengalami pelapukan, kayu diserang serangga (termite, bubuk, dsb), terjadi perbuahan bentuk (geometrik) dari rangka maupun daunnya atau tingkat kerusakan dari material kusen mencapai di atas 40% maka harus diperbaiki di *workshop*. Kerusakan yang sifatnya non konstruksi adalah; kaca pecah, cat mengelupas, *handle* terlepas dan kayu berlubang (bukan karena serangga).

Penyimpanan daun pintu maupun daun jendela harus dalam posisi tegak, tidak diperkenankan disimpan dalam sebuah susun rebah. Setiap kusen diberikan dudukan agar daun pintu maupun daun jendela dapat berdiri tegak, lihat Gambar 70.



Gambar 70 Gambar dudukan dan cara penyimpanan daun pintu dan daun jendela

Cara menyimpan dengan metoda ditegakkan memudahkan ketika daun pintu atau daun jendela akan dilakukan perbaikan. Perbaikan dilakukan satu per satu. Selanjutnya disimpan di tempat yang terlindung dari panas matahari dan hujan.

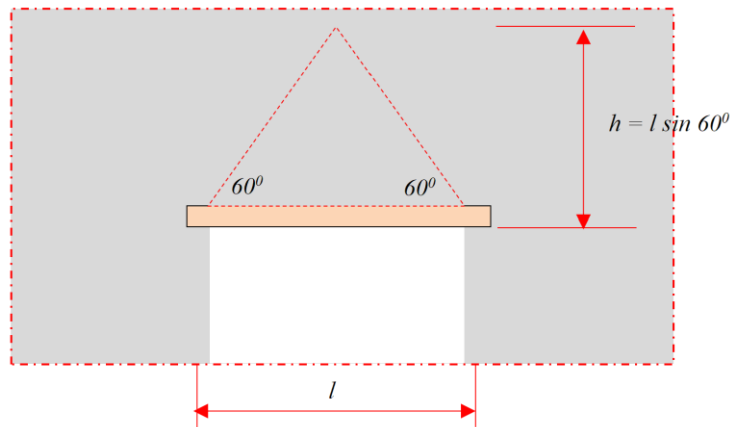
Jika angka kusen mengalami pelapukan, , maka kayu yang mengalami pelapukan harus diganti dengan kayu baru. Panel daun pintu dan kusen sebelum diperbaiki harus dibersihkan terlebih dahulu dari cat dengan menggunakan metoda; menggunakan bahan kimia seperti soda api, dengan dikerok menggunakan kape, atau dengan memanaskan menggunakan *hot-air gun*, untuk mengelupas lapisan cat dari panel kayu.



Gambar 71 Peralatan dan bahan untuk mengupas cat dari permukaan panel kusen pintu/jendela

Metoda perbaikan dilakukan berbeda pada setiap jenis kerusakan, jenis kerusakan disesuaikan dengan pedoman pemeriksaan. Perbaikan yang harus mendapatkan perhatian khusus adalah ketika melaksanakan perbaikan kusen pintu dan jendela bagian balok atas yang berhubungan dengan balok lintel.

Untuk kerusakan pada rangka kusen pintu dan jendela, bila kerusakan kusen terletak pada balok atas kusen, dimana di atasnya terdapat pasangan bata rolag, maka pekerjaan perbaikan dapat dilakukan dengan mengikuti kaidah sebagai berikut;

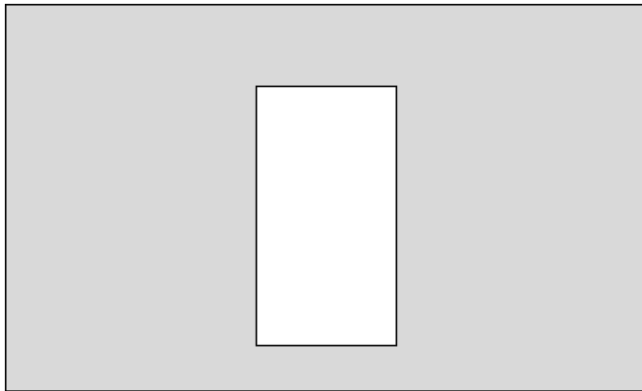


Gambar 72 Beban segitiga yang bekerja membebani balok lintel kusen pintu atau jendela

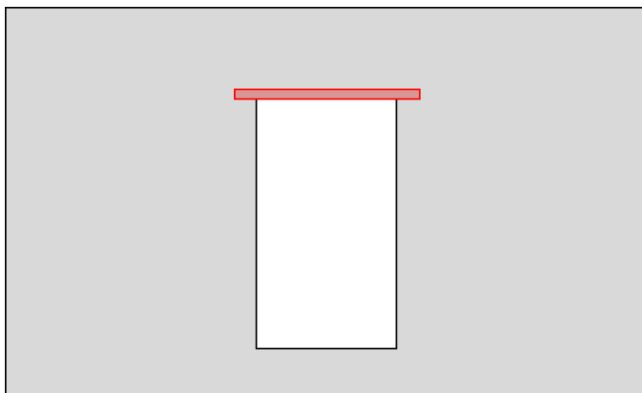
Untuk perbaikan balok lintel dan balok kusen atas, maka harus diperhitungkan terhadap beban dinding yang dipikul seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 72. Beban yang bekerja pada balok lintel dapat diperhitungkan seperti pada gambar di atas. Untuk menghitung diperlukan informasi berat dari satu satuan bata merah yang digunakan dan jumlah bata merah setiap meter persegi pasangan dinding yang digunakan, ditambah dengan berat spesi.

Pada kasus bangunan AA Maramis ini, rangka kusen bersifat struktural, sehingga bila rangka kusen tersebut dibuka, maka akan mengganggu kestabilan dari struktur bangunan keseluruhan, untuk itu ketika rangka kusen diperlukan untuk dibuka karena mengalami kerusakan di atas 40%, maka lubang dinding tempat kusen tersebut harus dilakukan penanganan perkuatan sementara.

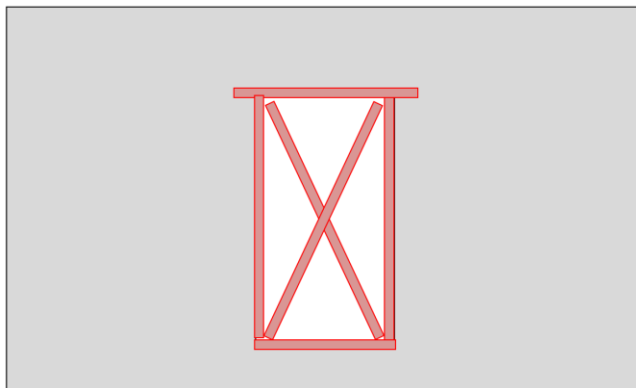
Metoda yang digunakan dalam penanganan perkuatan sementara dinding akibat rangka kusen yang dibukan dijelaskan oleh Gambar 73 sebagai berikut:



Lubang pada dinding, perhatikan pola retakan pada dinding sekitar lubang kusen



Lubang pada dinding, pasang terlebih dahulu penguat pada posisi balok lintel



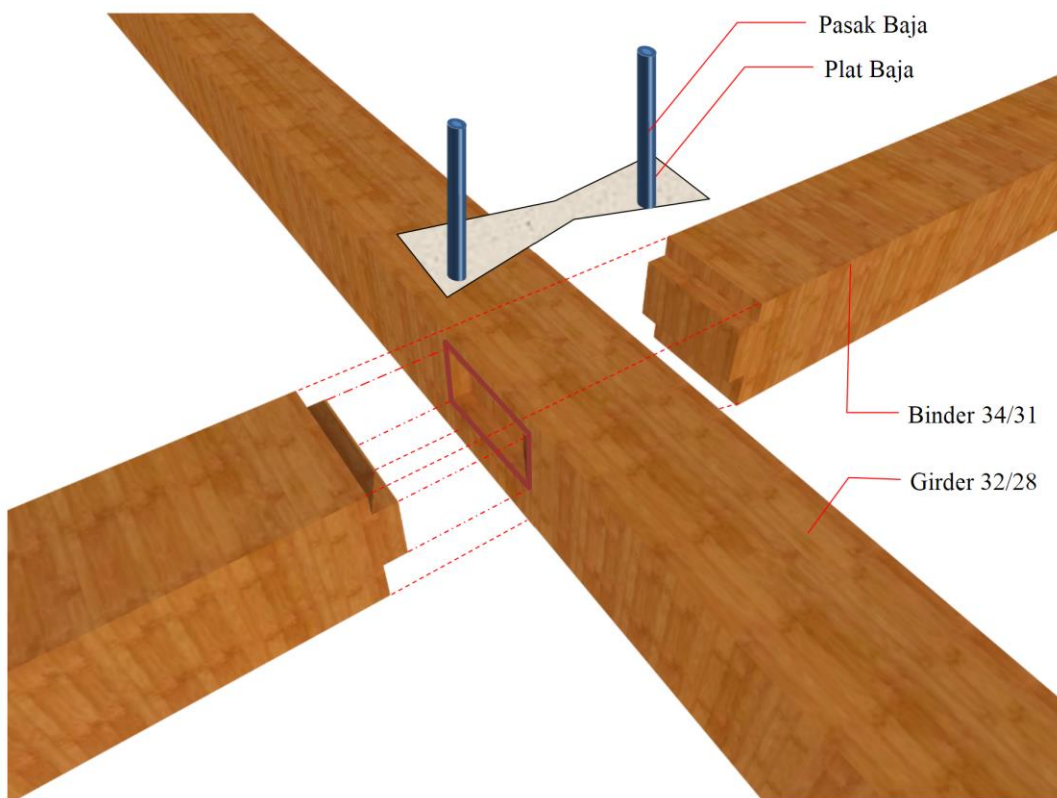
Pasang balok-balok diagonal bersilangan pada dua sisi lubang dinding, beri penguatan bidang tumpuan yang lebih luas agar tidak terjadi konsentrasi beban pada satu titik, gunakan bahan papan atau plat baja, pertimbangkan aspek ekonomis dan kekuatan dalam pemilihan bahan penguatan sementara.

Gambar 73 Metoda penguatan Sementara Lubang Kusen pada Dinding Pasangan Bata

Perbaikan dan Perkuatan Balok

Terdapat tiga tipe susunan balok lantai atas pada bangunan dengan konstruksi pasangan bata (*Masonry*), yaitu; tipe *Single timber floors*, *Double timber floors*, dan *Frame or Triple timber floors*. Susunan pembalokan lantai pada bangunan AA Maramis diidentifikasi menggunakan tipe ketiga, yaitu *Triple timber floors*.

Susunan pembalokan pada tipe ketiga terdiri dari; *Girder*, yaitu balok utama yang bertumpu pada dinding dengan jarak bentang terpendek, pada kasus bangunan AA Maramis bentang dari *Girder* adalah 10 meter, selanjutnya balok *Girder* (34/31) merupakan tumpuan dari balok *Binder* (32/28), dengan sistem sambungan menggunakan takikan dan penyambung plat baja. Balok *Binder* merupakan tumpuan dari balok anak atau *Bridging Joists* (18/19), yang merupakan susunan balok tempat di mana lantai papan menumpu.



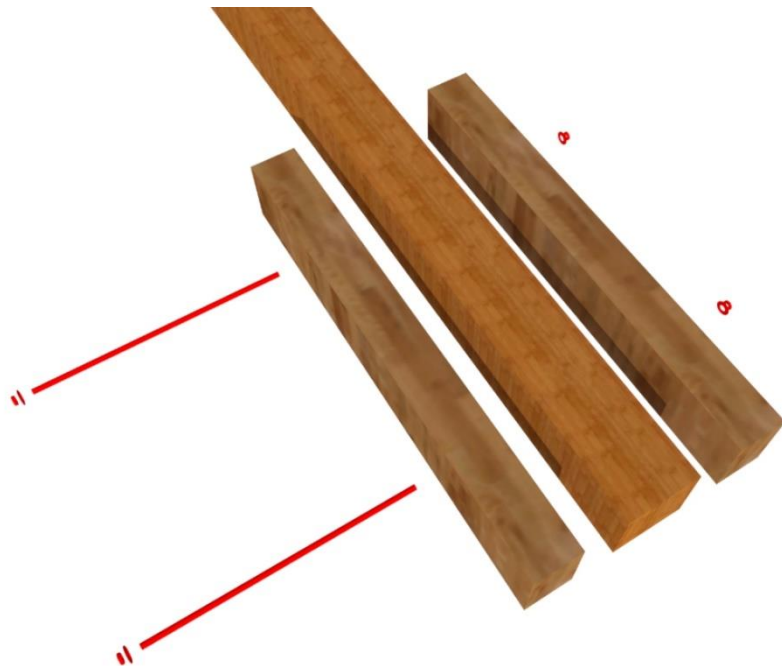
Gambar 74 Sistem Sambungan Balok Grider dengan Balok Binder

Jarak antara balok *Girder* adalah 5 meter, sehingga bentang dari balok *Binder* adalah 5 meter, dengan tarikan ke dalam balok *Girder* diperkirakan 5 cm. sambungan antara balok *Girder* dengan *Binder* diikat dengan Baja dan Pasak Baja pada sisi atas balok.

Sebelum melakukan perbaikan, pastikan kelengkapan informasi sebagai berikut, sudah dilakukan, meliputi;

1. Cek terlebih dahulu dari posisi kerusakan balok, apakah pada posisi tumpuan, posisi $\frac{1}{4}$ bentang, atau posisi pada bagian tengah. Pemeriksaan dilakukan terlebih dahulu pada balok *Girder*, dilanjutkan dengan balok Binder, dan balok Bridging.
2. Cek sifat kerusakan, apakah rusak karena pelapukan, rusak karena retakan, rusak karena mengalami deformasi. Hasil *scanning* menunjukkan bahwa lendutan terjadi hampir di setiap ruang. Serta kerusakan pada tumpuan pada sisi dinding berbatasan dengan ruang luar.
3. Untuk kerusakan retakan cek apakah retak rambut atau retak tembus, cek pula arah retak, apakah retak sejajar serat atau melintang serat.

Usulkan metoda perbaikan untuk setiap jenis kerusakan dan posisi kerusakan pada setiap jenis kerusakan balok lantai. Jenis kerusakan pada balok, diantaranya kerusakan pada tumpuan, dimana balok mengalami pelapukan akibat terkena air dari dinding yang lembab, khususnya kelembaban yang berada pada dinding bagian sisi luar.



Gambar 75 Konstruksi tumpuan balok *Girder* pada dinding pasangan bata merah sisi luar

Pelapukan utamanya terjadi pada balok *Girder* buka pada balok gapit perkuatan pada kedua sisi balok *Girder* ikatan balok gapit menggunakan baja dengan diameter 22 mm dan dikencangkan dengan mur dan ring. Ukuran balok gapit untuk perkuatan balok *Girder* pada tumpuan adalah 20/30 – 2 buah, dengan jenis dan kekuatan kayu yang sama dengan balok *Girder*.

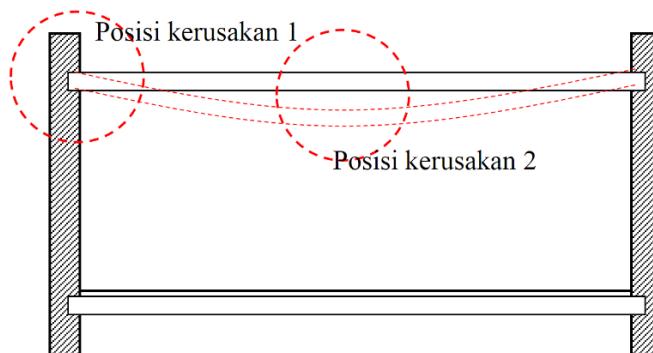
Kerusakan pada balok yang menopang eks ruang kamar mandi/toilet. Umumnya balok-balok lantai dan papan penutup lantai mengalami pelapukan pada daerah ini, sehingga perlu ada penanganan khusus, untuk perbaikan.



Gambar 76 Pola pembalokan lantai dan jenis pelapukan pada tumpuan, dan eks. ruang kamar mandi

Perbaikan kerusakan balok akibat retakan pada posisi tumpuan dan posisi tengah bentang, maka perbaikan dapat dilakukan dengan mengikuti langkah sebagai berikut:

1. Langkah awal untuk memperbaiki pembalokan adalah dengan melakukan pembukaan penutup lantai, papan lantai dilepas satu per satu dan disimpan dengan memberikan kode posisi ruang dan nomor urut papan berdasarkan posisi denah lantai. Sehingga tinggal tersisa balok-balok lantai.
2. Identifikasi letak kerusakan, tipikal letak kerusakan balok terjadi pada tumpuan yang berhubungan dengan ruang luar serta lendutan balok (deformasi) akibat beban berlebih.
3. Identifikasi kondisi tumpuan balok utama, balok induk, dan balok anak. Tumpuan balok utama terletak pada dinding-dinding bangunan, sedangkan tumpuan balok induk maupun balok anak dapat terletak pada dinding maupun pada balok-balok lainnya.
4. Cek kondisi sambungan, maupun peralatan sambungan, seperti asak kayu maupun baja, plat baja, maupun pasak kayu pada sistem sambungan, termasuk cek kondisi sistem sambungan kayu (takikan dan lidah pada balok anak dan balok induk).

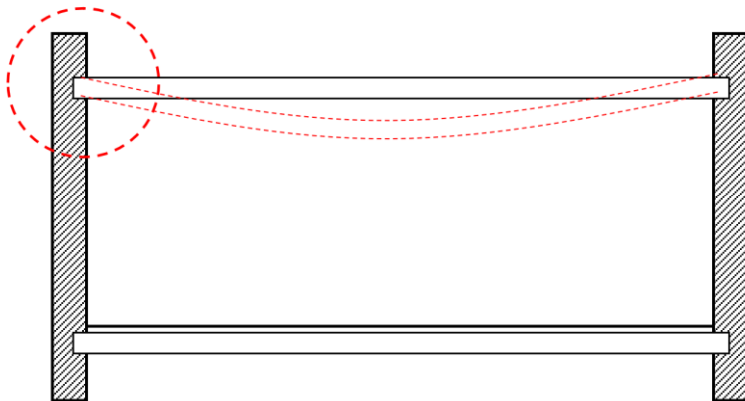


Gambar 77 Dua posisi titik kerusakan pada balok lantai yang harus mendapat perhatian khusus

Kondisi kerusakan umum pada balok, meliputi;

1. Posisi pertama adalah posisi tumpuan, umumnya pada posisi tumpuan terjadi pelapukan akibat terkena kelembapan air hujan dari arah luar.
2. Posisi kedua adalah kerusakan pada tumpuan akibat pelapukan bahan balok kayu akibat penambahan fungsi ruang kamar mandi, sehingga lembap air dalam kamar mandi mempengaruhi kelembapan kayu lantai maupun balok.
3. Posisi ketiga adalah jenis kerusakan deformasi balok kayu akibat beban yang terlalu berat dalam waktu yang lama. Selain itu penambahan beban-beban akibat pemanfaatan fungsi ruang seperti gudang dan ruang arsip, termasuk penambahan partisi yang diperlukan untuk menyekat ruang, termasuk penambahan dinding dan lantai untuk fungsi kamar mandi.
4. Kerusakan tumpuan akibat pelapukan bahan pada dinding yang menjadi tumpuan dari balok, kerusakan meliputi kerusakan spesi maupun kerusakan bata, akibat beban diatasnya.

Perbaikan kerusakan balok akibat pelapukan, pada posisi tumpuan dan posisi tengah bentang seperti ditunjukkan oleh Gambar 78.



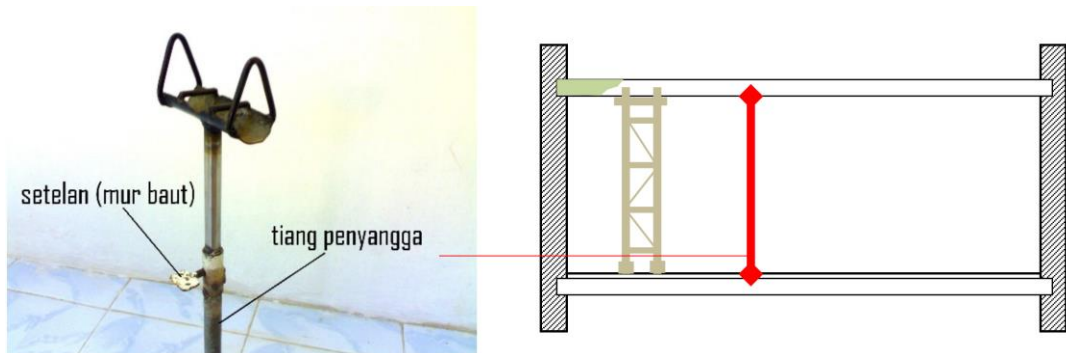
Gambar 78 Gambar posisi pelapukan pada tumpuan

Pelapukan pada posisi tumpuan ada dua macam, pelapukan menyeluruh sehingga balok tidak lagi menumpu pada tumpuan dinding pasangan bata, akan tetapi balok dalam kondisi menggantung pada papan lantai. Pada kondisi demikian, maka langkah awal balok yang terputus pada tumpuan tersebut harus dipasang penyangga (*scaffolding*).

Perbaikan balok akibat pelapukan pada posisi tumpuan, maka langkah yang harus ditempuh dalam perbaikannya adalah;

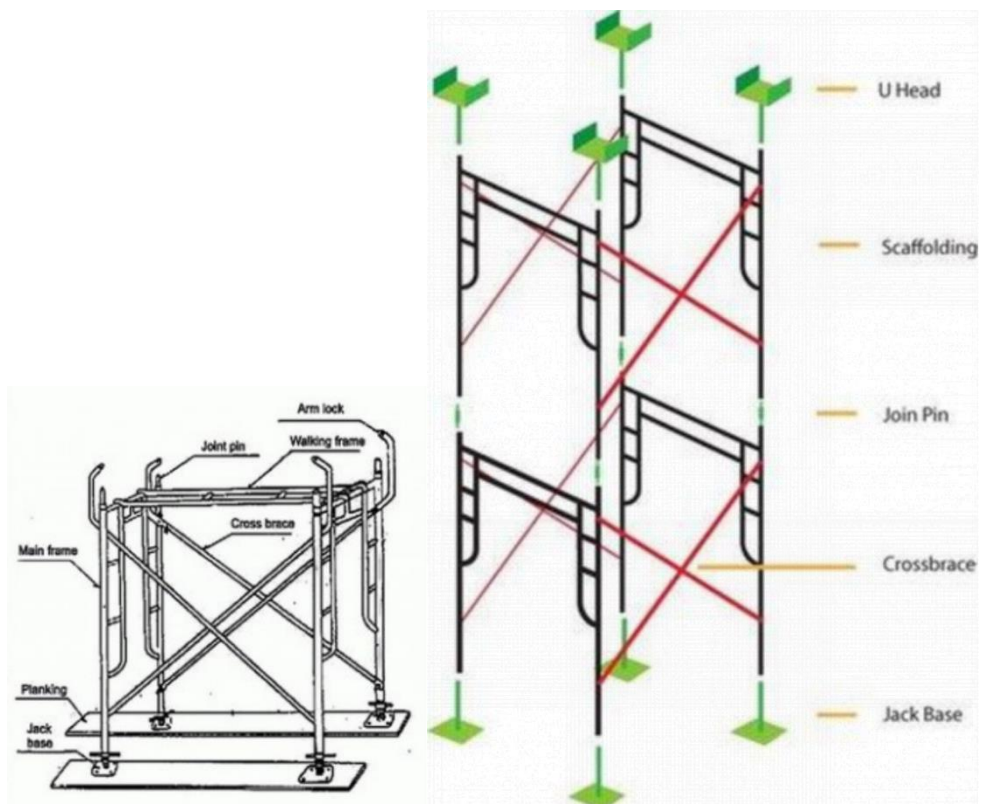
Perbaikan dilakukan pada tumpuan balok Girder, baik pada tumpuan dinding maupun pada sisi balok Girder bila keduanya mengalami perubahan fisik. Untuk melakukan perbaikan tumpuan balok Girder dan tumpuannya, maka balok-balok Binder dan balok Bridging harus diangkat terlebih dahulu. Gunakan *scaffolding* yang mampu menahan beban balok kayu,

lengkapi *scaffolding* dengan pengatur ketinggian, perhatikan cara pemasangan *scaffolding* dengan baik dan benar.



Gambar 79 Penempatan scaffolding penyangga balok lantai

Untuk beban balok yang tidak terlalu berat dapat menggunakan tiang penyangga. Tiang penyangga juga dapat digunakan untuk penopang tambahan balok yang sudah disangga oleh *scaffolding*.



Gambar 80 Scaffolding, dapat digunakan untuk menahan balok lantai yang mengalami kerusakan

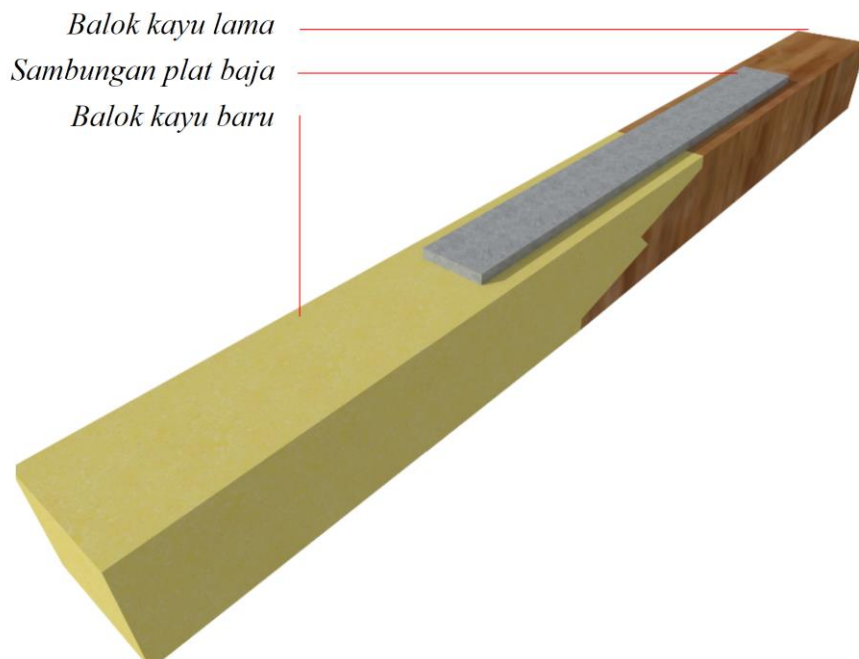
Perhatikan tumpuan *scaffolding* pada lantai di bawahnya tidak merusak papan lantai, untuk itu beri bantalan yang memungkinkan bidang tumpuan *scaffolding* lebih lebar dan luas. Periksa panjang dan bagian balok yang secara kasat mata baik namun pada bagian dalam sudah mengalami pelapukan.

Selanjutnya perbaikan bagian balok yang mengalami kerusakan. Potong bagian yang mengalami pelapukan, sampai dengan bagian yang betul-betul baik, cek juga kadar air dalam kayu dan kelembapan kayu. Pastikan kadar air dan kelembapan masih dalam ambang batas diizinkan sesuai dengan SNI.



Gambar 81 Potong bagian yang mengalami pelapukan pada bagian kayu yang masih baik

Setelah dipotong, maka lakukan penyambungan balok kayu dengan bahan kayu solid serupa atau kayu olahan. Balok kayu sambungan dapat menggunakan balok lama yang tingkat kerusakannya sangat parah, sehingga hanya sebagian dari balok saja yang masih dapat dimanfaatkan untuk menyambung balok lainnya. Sambungan selain menggunakan lem juga diperkuat dengan plat baja dengan ketebalan disesuaikan dengan hasil perhitungan. Lakukan pekerjaan perbaikan balok di tempat bila memungkinkan.

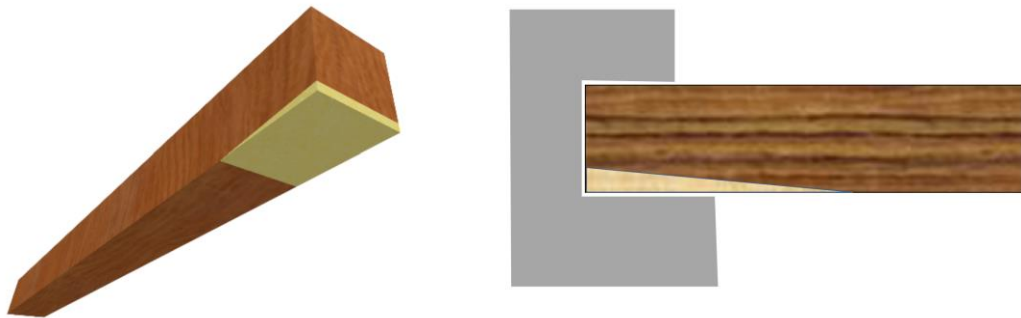


Gambar 82 Sistem sambungan yang digunakan pada balok lantai



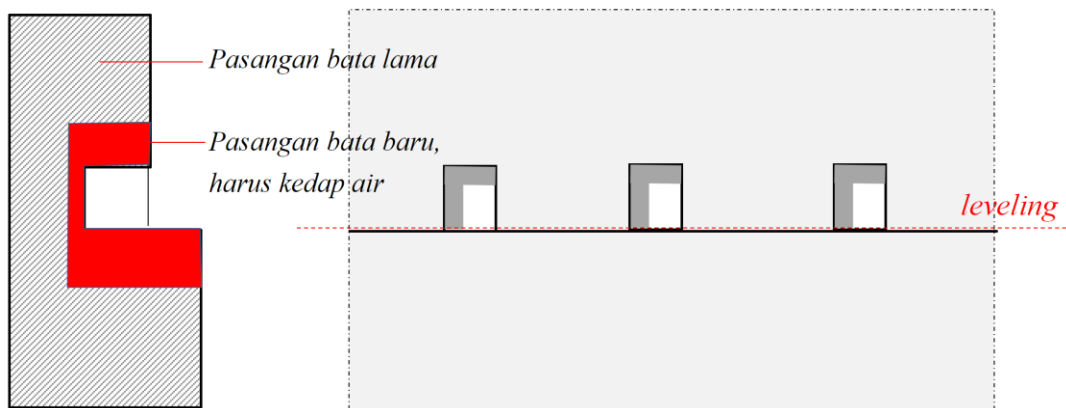
Gambar 83 Balok Girder (utama) mengalami pelapukan disertai dengan papan penutup lantai

Perbaikan pada titik tumpuan balok, akibat pelapukan sebagian atau perubahan bentuk pada sisi balok, maka perbaikan dapat dilakukan dengan menambah ganjal pada bagian tumpuan dinding pasangan bata, atau dengan menambah lapisan pada bagian bawah balok, lihat Gambar 84.



Gambar 84 Penambahan sisi tumpuan balok, dengan kayu atau bahan baja

Perbaikan tumpuan dari balok lantai pada dinding bata, pastikan level ketinggian antara tumpuan sudah sejajar, memiliki ketinggian yang sama, gunakan benang pada posisi 5 sampai dengan 10 cm dari posisi tumpuan lihat Gambar 85.



Gambar 85 Perbaikan tumpuan balok lantai pada dinding pasangan bata

Perbaikan tumpuan dilakukan pada setiap balok, untuk itu balok pada sisi tumpuan diangkat dengan menggunakan dongkrak hidrolik, perhatikan ketika menggunakan dongkrak, posisi dongkrak harus dipastikan tidak akan mengganggu lantai bangunan di bawahnya, untuk itu berikan dudukan dongkrak secukupnya pada lantai di bawahnya sehingga bidang tumpuan lebih lebar dan lebih luar, dengan demikian beban dongkrak didistribusikan hampir merata.



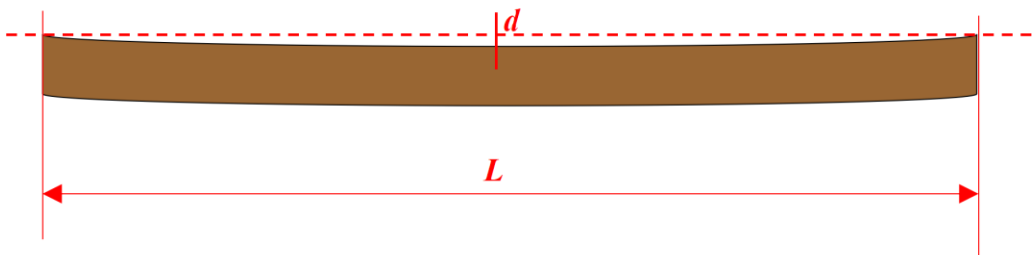
Gambar 86 Kerusakan balok pada sisi tumpuan, bidang tumpuan adalah sebesar 40 cm

Kedalaman tumpuan balok utama pada dinding pasangan bata adalah sebesar 40 cm, lihat Gambar 856. Kerusakan balok pada sisi tumpuan, bidang tumpuan adalah sebesar 40 cm dengan ukuran balok rata-rata 30 x 30 cm. pada balok utama serta balok anak pada

tumpuan terhadap dinding diberi balok gapit dengan ukuran 20 x 30 cm, yang disambungkan dengan baut diameter 24 mm.

Perbaikan balok akibat pelapukan pada posisi tengah, maka langkah yang harus ditempuh dalam perbaikannya adalah;

1. Perbaikan balok yang mengalami bending (lendutan) sejauh tingkat lendutan tersebut masih berada dalam lendutan ijin, maka balok kayu tersebut dapat dilakukan perbaikan, untuk menjadi datar kembali.
2. Perbaikan balok lantai dengan menambah lapisan pada sisi atas balok dengan bahan kayu sintetis, hingga permukaan balok sisi atas rata kembali

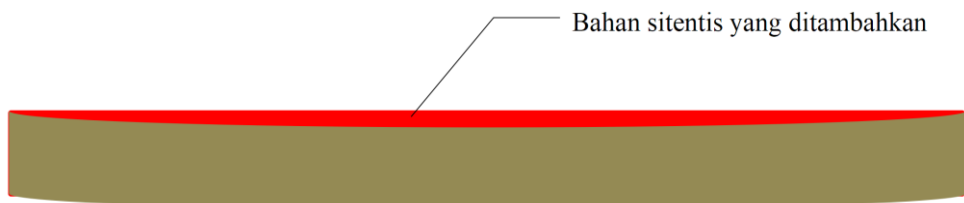


Gambar 87 Lendutan maksimum balok lantai

Cek lendutan untuk balok kayu tidak melebihi dari $1/30$ bentang, bentang yang diukur adalah jarak antara tumpuan ke tumpuan. Bila deformasi melampaui $1/30$ bentang maka balok tersebut wajib diturunkan terlebih dahulu dan dilakukan uji fisik, mekanik, dan kimia. Bila kondisinya sudah tidak memenuhi salah satu persyaratan, maka balok tersebut harus diganti dengan balok baru.

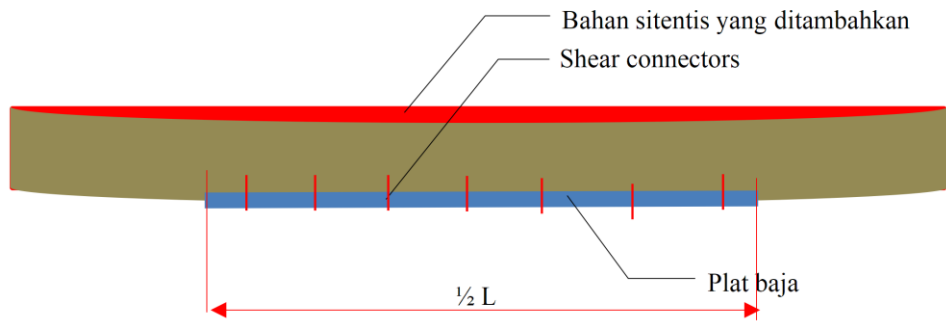
Bila diformasi kurang dari $1/30$ bentang ($1/30 L$), maka balok tersebut dapat dilakukan perbaikan, sehingga didapatkan permukaan yang rata kembali pada sisi atas dari balok tersebut. Alternatif perbaikan meliputi;

1. Tambahkan permukaan atas dengan bahan kayu sintetis, dengan campuran serbuk kayu dan bahan lem kayu tahan air.



Gambar 88 Metoda perbaikan permukaan balok

2. Bila diperlukan penambahan kekuatan maka pada sisi bagian bawah balok dapat ditambahkan dengan plat baja dengan ikatan menggunakan shear conector, dengan jarak dan jumlah berdasarkan perhitungan.



Gambar 89 Metoda perkuatan tambahan balok dengan plat baja

3. Ganjal balok-balok anak yang menumpu di atasnya dengan bahan kayu, bambu, atau baja, dengan bahan yang memungkinkan tidak lagi mengalami perubahan bentuk.



Gambar 90 Metoda perkuatan tambahan balok dengan plat baja

Perbaikan Dan Perkuatan Papan Penutup Lantai

Cek kehalusan permukaan lantai, peluang terganggunya kehalusan akibat dari pelapukan akibat usia, kerusakan yang ditimbulkan oleh pekerjaan tambahan lapisan tambahan pada masa-masa tertentu, sehingga bekas paku dan kelembaban termasuk gangguan serangga yang ditimbulkan, agar direkam terlebih dahulu.

Cek juga sistem sambungan, apakah paku-paku yang digunakan sudah mengalami degradasi, apakah sambungan antara papan lantai juga mengalami kerusakan

Cek kekuatan lantai papan, apakah telah mengalami lendutan, hal tersebut dimungkinkan karena sebagian balok lantai justru ada yang menggantung di papan lantai, sebagai akibat dari pelapukan balok pada sisi tumpuan.

Metoda perbaikan mempertimbangkan hasil akhir, mengingat lantai papan dimungkinkan langsung digunakan sebagai lapisan akhir penutup lantai. Untuk menghasilkan kembali lantai papan yang baik dan halus serta nyaman digunakan, maka perlu dipoles agar halus. Untuk itu permukaan lantai papan harus lurus terlebih dahulu.

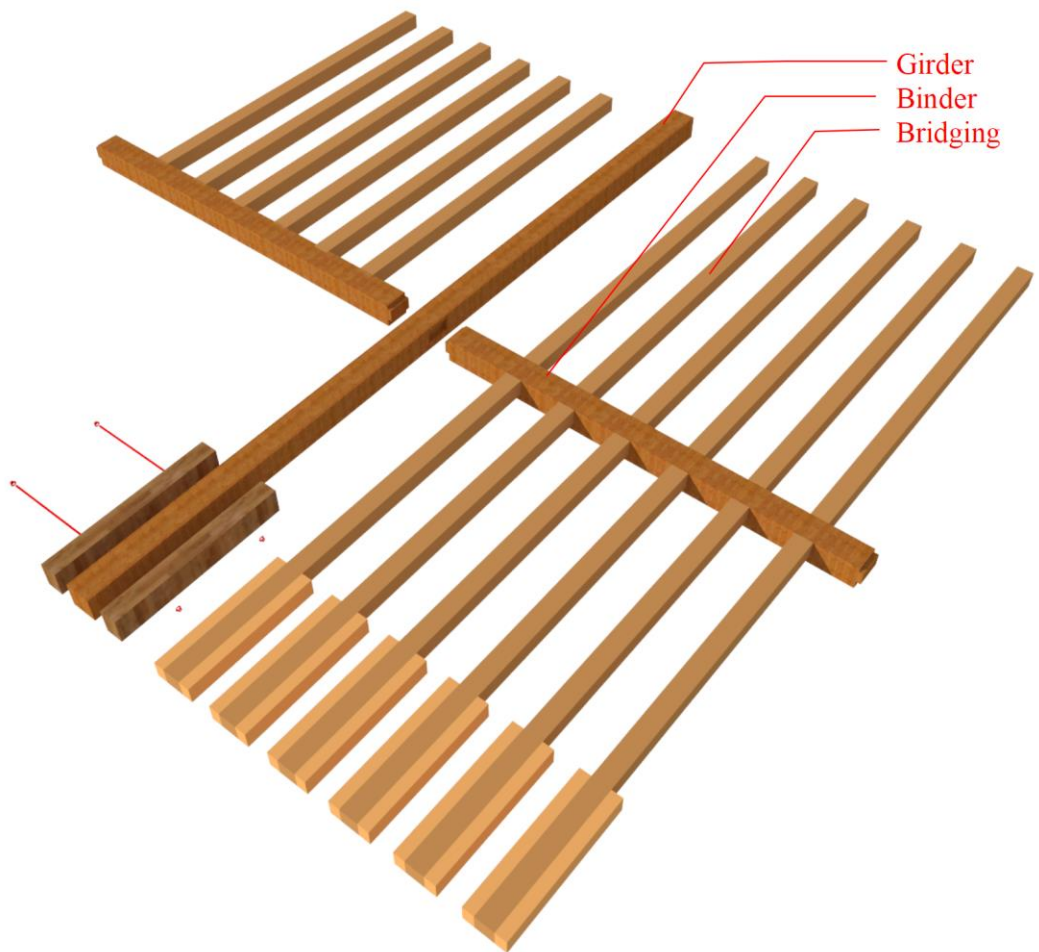


Gambar 91 Pelapukan papan banyak disebabkan oleh air

Lantai papan yang telah lapuk harus diganti dengan bahan yang serupa.

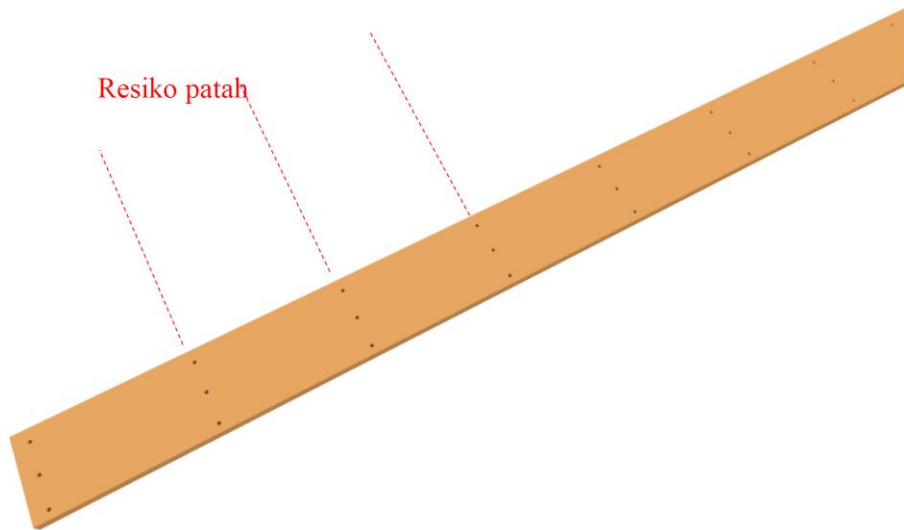
Langkah-langkah perbaikan papan meliputi;

1. Buka seluruh papan lantai. Proses pembukaan papan lantai tidak diperkenankan serentak, akan tetapi dilakukan mulai dari ruang paling sisi kiri dan kanan bangunan secara serentak atau bergantian. Pembukaan secara bergantian adaah setelah salah satu sisi selesai dibongkar, diperbaiki, dan dipasang kembali baru memperbaiki sisi berikutnya.



Gambar 92 Perbaikan pembalokan setelah lantai penutup papan dibuka

2. Papan yang telah dibuka, diberi tanda, agar dapat ditempatkan pada posisi sebelumnya. Papan yang akan diperbaiki ditempatkan di workshop, dengan posisi yang tidak memungkinkan terjadinya lendutan pada papan tersebut. Untuk itu ikuti kaidah penyimpanan papan sesuai dengan standar.



Gambar 93 Kondisi papan yang sudah terlepas dari tempatnya, siap untuk diperbaiki

Setelah papan terlepas dari posisinya, hati-hati ketika memindahkan lantai papan ke *workshop*, karena pada daerah lubang bekas paku dapat menjadi titik lemah papan dapat saja patah pada bagian ini.

Untuk membuka papan gunakan bor dalam bentuk *core (core drill)* sehingga untuk melepaskan ikatan paku, maka yang dilubangi adalah papan sekitar paku, sehingga papan akan berlubang sebesar lubang mata *core drill*. Paku yang tertinggal di atas balok sebaiknya tidak dicabut, karena dapat merusak balok, untuk itu paku lama disarankan untuk dipotong dengan gergaji besi dan diratakan dengan grindra.



Gambar 94 Mata bor (core drill) untuk membuka papan dari ikatan paku

Perbaiki lubang-lubang bekas paku yang dalam bentuknya seperti silinder. Perbaiki lubang dengan menggunakan bahan-bahan sintetis, seperti campuran dari serbuk kayu dengan lem, atau gunakan kayu solid berbentuk silinder dengan ukuran lebih besar sedikit dengan lubang, dan padatkan kembali dengan dipres.



Gambar 95 Lubang pada papan lantai yang haru diperbaiki

Perbaikan dan Perkuatan Plafon

Balok Plafon

Bahan penutup plafon adalah bahan papan kayu dengan ukuran 30 sampai dengan 40 cm, ketebalan papan adalah antar 3 sampai dengan 4 cm lebih tipis dari bahan papan lantai. Langkah-langkah dalam perbaikan plafon adalah;

Buka seluruh penutup plafon dari rangka plafon, gunakan metoda yang sama dengan metoda untuk membuka papan lantai. Hal tersebut ditujukan agar papan penutup plafon tidak mengalami penambahan kerusakan. Kerusakan yang terjadi pada papan plafon selain oleh faktor alam, juga disebabkan oleh faktor manusia, yang disebabkan oleh penambahan perlakuan pada bangunan, seperti penggantung dan ducting AC, penambahan partisi, juga penambahan plafon baru yang menggantung dan membongkar permukaan plafon asli.



Gambar 96 Kondisi penutup plafon setelah proses pengupasan

Bawa seluruh papan plafon ke *workshop* dan perbaiki seperti perbaikan yang dilakukan pada papan lantai.

Perbaiki balok-balok rangka plafon dengan tahapan sebagai berikut;

1. Perbaiki posisi tumpuan balok induk plafon dari tumpuannya pada dinding pasangan bata, bila diperlukan perbaiki juga tumpuan dari balok plafon pada sisi dinding pasangan bata, lakukan seperti memperbaiki tumpuan balok lantai.
2. Ratakan sisi bawah dari balok plafon, metoda yang digunakan dengan melapisi sisi bagian bawah sehingga balok plafon menjadi rata kembali
3. Perbaiki penggantung plafon
4. Pasang kembali papan plafon yang telah diperbaiki di *workshop*,

Perbaikan Papan Plafon

Cek jenis dan tipe kerusakan papan penutup plafon

Metoda perbaikan papan plafon :

1. Sebelum membuka papan, gambar dulu ornamen yang ada pada permukaan plafon, dan pastikan metoda konstruksi dari ornamen yang melekat pada permukaan plafon. Bila ornamen tersebut dapat digunakan, maka buka dan perbaiki serta gunakan kembali ornamen tersebut pada tempatnya semula
2. Siapkan metoda pembukaan papan penutup, pelepasan papan dilakukan dengan bor bagian paku, lakukan penghancuran paku-paku pengikat papan untuk menghindari kerusakan papan yang lebih parah
3. Buka papan satu persatu, selanjutnya bawa setiap papan yang telah diberikan tanda untuk dibawa ke *workshop*
4. Perbaiki papan satu per satu, kembali pada kondisi semula, sebelumnya lepaskan bahan cat yang menutupi papan plafon, pada saat diperbaiki papan plafon harus terlihat rata permukaannya dan perbaiki papan satu persatu sehingga lurus dan rata
5. Tutup kembali lubang bekas paku dengan bahan serbuk kayu dicampur dengan lem atau bahan sintesis lainnya

Perbaikan Mekanikal dan Elektrikal

Kondisi elektrikal dan mekanikal pada bangunan AA Maramis, merupakan tambahan, baik itu menyangkut sistem jaringan listrik, sistem jaringan air bersih, sistem jaringan air kotor, sistem pengkondisian udara, maupun sistem jaringan proteksi terhadap kebakaran.

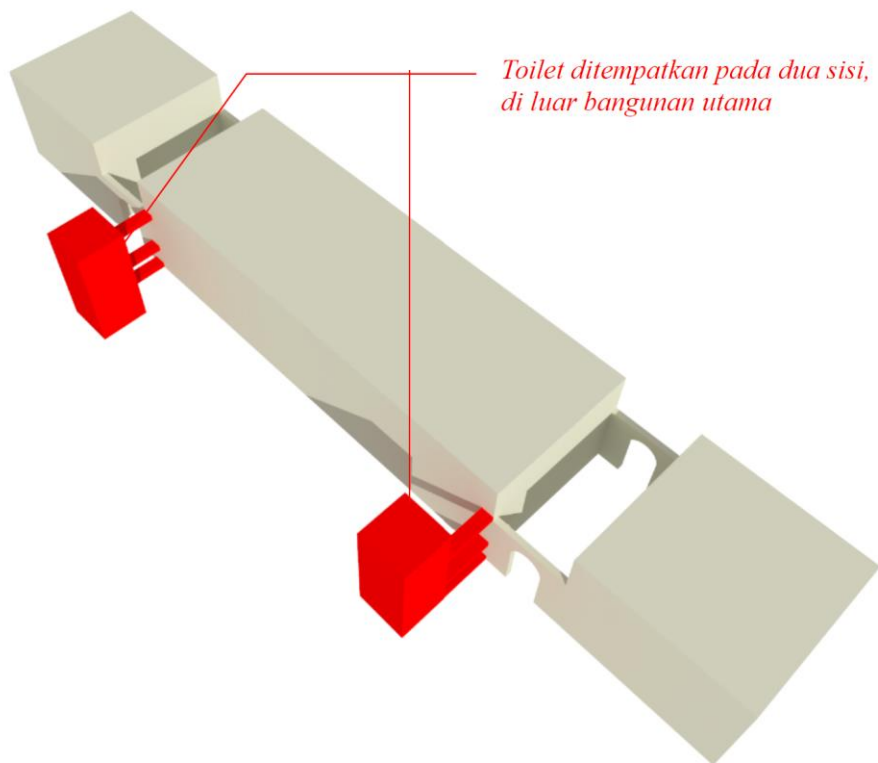
Sistem Jaringan Listrik

Listrik pada bangunan ini, merupakan tambahan pada periode tertentu, data akurat belum didapat, namun dari cara pemasangan maka diprediksi bahwa sistem jaringan listrik adalah tambahan.

Untuk itu pendekatan sistem jaringan listrik harus dihitung berdasarkan intensitas pencahayaan yang diperlukan sesuai dengan fungsi yang akan ditempatkan pada ruang-ruang yang ada. Perencanaan kebutuhan pencahayaan ruang harus sesuai dengan SNI, dengan mempertimbangkan kualitas dari intensitas cahaya yang ada berdasarkan pengukuran.

Sistem Jaringan Air Kotor

Sistem jaringan air kotor pada bangunan merupakan komponen tambahan sebagai konsekuensi dari penambahan fungsi toilet pada bangunan. Keberadaan toilet pada bangunan dengan sistem konstruksi *masonry*, telah mengganggu keandalan bangunan, sehingga keberadaan toilet harus ditempatkan di luar bangunan, dengan demikian pada bangunan AA Maramis tidak akan ada lagi jaringan air kotor termasuk jaringan air bersih.



Gambar 97 Tempatkan toilet di luar bangunan utama

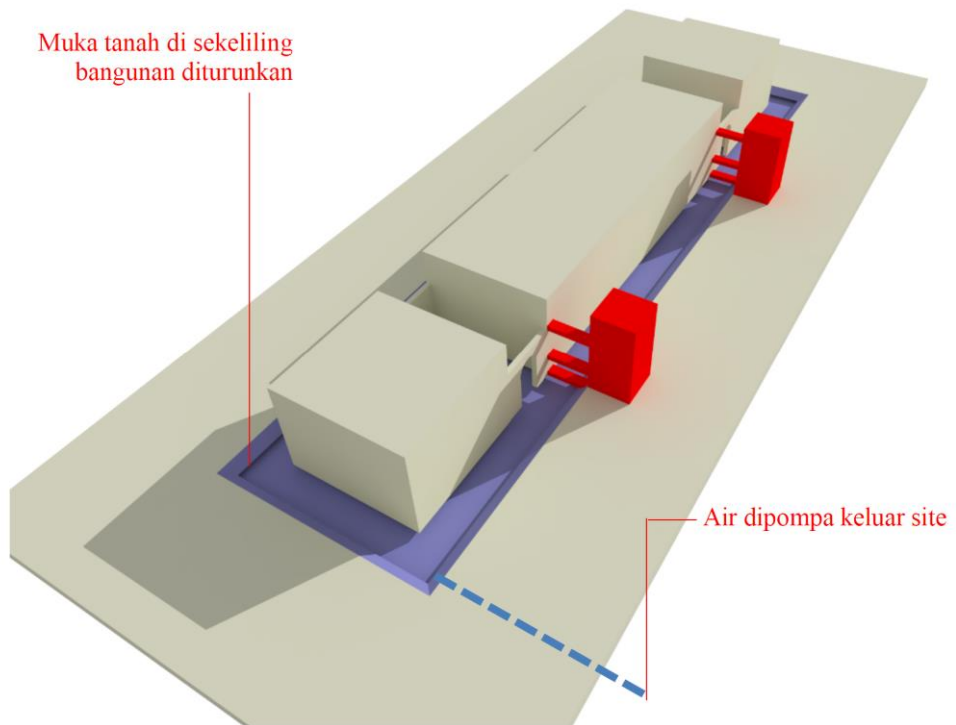
Dengan menempatkan toilet bangunan di luar bangunan utama, maka pada bangunan utama tidak lagi terdapat jaringan air bersih maupun air kotor. Penempatan toilet disarankan di bagian belakang bangunan, sehingga tidak mengganggu estetika.

Sistem Jaringan Air Bersih

Hindari dan tidak diperkenankan adanya sistem jaringan air bersih dalam bangunan AA Maramis, termasuk reservoir atas, harus dipindahkan di atas bangunan toilet yang baru.

Jaringan Drainase

Turunkan permukaan tanah yang terdapat di sekeliling bangunan, sampai dengan ketinggian lantai dasar bangunan terletak di atas muka tanah minimum 20 cm. tata ulang sistem drainase di sekitar permukaan tanah yang telah diturunkan dengan mengarahkan drainase ke bak penampungan (sumpit) lalu pompa air yang ada di dalam bak sumpit tersebut.



Gambar 98 Permukaan tanah diturunkan agar lantai dasar bangunan berada di atas muka tanah, untuk itu perlu perbaikan tata kelola drainase

Sistem Jaringan Komunikasi

Sistem jaringan komunikasi masih diperkenankan dibangun pada bangunan AA Maramis, upayakan menggunakan teknologi terkini, sehingga keberadaan kabel-kabel dapat dikurangi dengan memanfaatkan jaringan nir kabel.

Sistem Jaringan Pengkondisian Udara

Sistem pengkondisian udara sebaiknya menggunakan sistem *portable*, sehingga tidak lagi terdapat *ducting* yang dapat mengganggu struktur bangunan, selain itu sistem ini juga memungkinkan AC difungsikan bila ruang tersebut digunakan saja. Sedangkan AC sentral memiliki kelemahan, dimana AC di setiap ruang akan selalu aktif meskipun ruang tersebut tidak digunakan. Akibat AC yang selalu aktif dari setiap ruang tersebut, akan mengganggu tingkat kelembapan dinding serta bahan bangunan lainnya, mengingat bangunan AA Maramis pada awalnya tidak pernah direncanakan menghadapi cuaca buatan dari AC.

BAB VI. Teknik Pemeriksaan Aspek Struktur Bangunan Cagar Budaya dengan Sistem Struktur *Masonry*

Pada bab sebelumnya, kita telah mengulas teknik umum pemeriksaan bangunan cagar budaya berbasis observasi dan dengan menggunakan ilmu patologi bangunan untuk mengidentifikasi kondisi bangunan eksisting (**Bab III**). Pada bab tersebut, lingkup ulasan mencakup aspek struktur maupun nonstruktur (seperti arsitektural dan MEP). Agar proses observasi dapat terlaksana secara efektif dan efisien, berbagai macam **Form** yang dibuat sebagai alat bantu bagi tim pemeriksa lapangan telah diperkenalkan. Teknik pelaporan hasil pemeriksaan telah dicontohkan dalam **Bab IV** berdasarkan *best practice* dari kegiatan pemeriksaan bangunan Gedung AA Maramis. Selanjutnya, konsep umum untuk perbaikan komponen baik struktural maupun non-struktural, telah disampaikan dalam Bab V yang juga berlandaskan *best practice* dari kegiatan pemeriksaan bangunan Gedung AA Maramis.

Namun demikian, sebagaimana juga telah disampaikan dalam Gambar 3 juga pada bagian pengantar di Bab I, bahwa sejatinya pemeriksaan bangunan (atau umumnya untuk konteks penyelenggaraan bangunan gedung disebut juga dengan istilah asesmen bangunan) tersusun atas serangkaian proses yang runut dan sistematis, termasuk pada aspek keandalan struktur bangunan.

Secara umum, alur berpikir dari kegiatan asesmen struktur bangunan eksisting dapat digambarkan melalui Gambar 99. Untuk dapat melaksanakan asesmen struktur bangunan secara komprehensif, diperlukan berbagai macam data input. Data konfigurasi struktur bangunan eksisting, seyogyanya dapat diketahui dari dokumen *As-built drawing* maupun dokumen perencanaan awal. Namun sayangnya dalam banyak kasus dokumen *as-built* tersebut sudah tidak tersedia, terlebih pada bangunan yang sudah berumur lebih dari 50 tahun. Jika dokumen *as-built drawing* sudah tidak tersedia, maka perlu dilakukan survei konfigurasi struktur bangunan secara menyeluruh untuk kemudian dapat melakukan pemodelan struktur.

Data lain yang diperlukan adalah identifikasi kerusakan melalui pengamatan visual. Kerusakan dapat mempengaruhi geometri (dapat merujuk pada penjelasan *scanning* bangunan pada **Bab III**), ataupun dapat mempengaruhi tampak dan tekstur visual dari

permukaan komponen struktur. Hasil pengamatan visual ini dapat membantu kita untuk memperkirakan gambaran kesehatan struktur bangunan yang ditinjau secara umum, juga dapat menuntun kita pada berbagai macam jenis pengujian yang diperlukan.

Untuk mengetahui properti mekanis material ataupun parameter struktur penting untuk pemodelan struktur, maka dapat dilakukan serangkaian pengujian pada bangunan eksisting. Saat ini terdapat berbagai macam opsi teknik pengujian pada bangunan eksisting. Seorang *structure engineer* harus menguasai dan memahami teknik-teknik pengujian tersebut agar sesuai dengan kebutuhan dan konteks output yang diperlukan untuk analisis struktur bangunan eksisting. Pemilihan jenis pengujian selain menyesuaikan dengan konteks dan kebutuhan yang diperlukan, juga tentunya menyesuaikan ketersediaan alat, faktor keekonomisan dan efisiensi biaya, kelebihan dan kekurangan masing-masing teknik pengujian, dan juga material bangunan yang akan diuji.

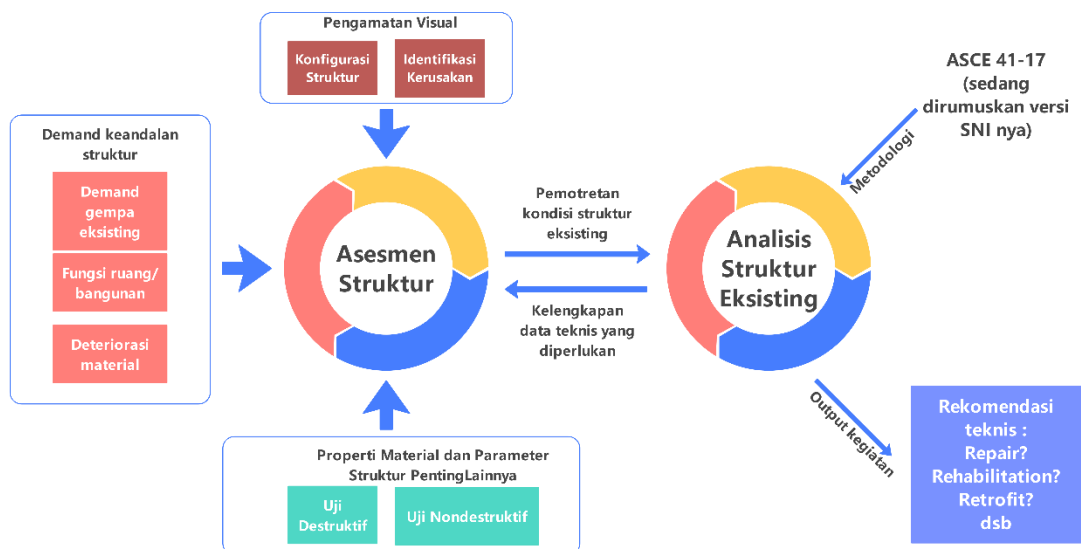
Demand keandalan struktur akan dipengaruhi oleh beban-beban yang harus mampu dipikul oleh struktur bangunan. Besar beban vertikal (atau beban gravitasi) yang harus mampu dipikul oleh struktur akan bergantung pada fungsi ruangan-ruangan yang berada dalam bangunan. Setiap fungsi ruang mempunyai nilai beban minimum yang harus mampu dipikul sesuai ketentuan SNI 1727:2020. Sementara itu aspek ketahanan terhadap beban gempa tentunya mengacu pada tingkat kegempaan yang berpotensi terjadi pada lokasi bangunan berada, dengan memperhitungkan sisa umur layan bangunan. Direktorat Bina Teknik Permukiman dan Perumahan, Direktorat Jenderal Cipta Karya, bekerja sama dengan Pusgen telah menyediakan peta gempa khusus untuk asesmen bangunan eksisting, dimana perbedaannya dengan peta gempa desain (yang tertera dalam SNI 1726:2019) terletak pada variabel umur layan bangunan eksisting yang tentunya tidak sama dengan bangunan baru. Namun jika bangunan eksisting yang dikaji direncanakan untuk ditambah masa layannya, tidak menutup kemungkinan proses asesmen harus menggunakan peta gempa untuk desain bangunan baru.

Setelah data-data penting tersebut diperoleh, maka selanjutnya dapat dilakukan pemodelan struktur bangunan eksisting secara numerik. Pemodelan struktur tersebut dapat dilakukan dengan berbagai pendekatan, mulai dari pendekatan yang umum menggunakan berbagai perangkat lunak analisis struktur komersil, hingga dengan pendekatan yang lebih detil dengan menggunakan perangkat lunak khusus dengan kemampuan analisis struktur nonlinear inelastis, yang tentunya memerlukan sumber daya yang lebih tinggi juga baik dari sisi *hardware* (spesifikasi komputer yang diperlukan akan lebih tinggi), *software*, maupun *brainware* yang mumpuni (perlu keahlian khusus dalam mengoperasikan *software* tersebut secara baik dan benar). **Pada intinya, pemodelan struktur harus dilakukan sedemikian rupa sehingga mencerminkan kondisi riil bangunan yang dimodelkan, baik dari sisi geometri, konfigurasi struktur, properti mekanis dan material, maupun *demand* pembebanan yang harus dipikul.**

Metodologi analisis struktur bangunan eksisting tidak sama persis dengan metodologi dalam perancangan bangunan baru. Ketika merancang bangunan baru, berbagai ketentuan

preskriptif telah dijelaskan dalam berbagai standar perancangan (misalnya SNI 2847:2019 untuk bangunan beton bertulang dan SNI 1729:2020 untuk bangunan baja). Sedangkan untuk konteks pemeriksaan bangunan eksisting, ada standar lain yang mengatur secara lebih spesifik. Misalnya untuk konteks asesmen seismik bangunan eksisting (yang hampir pasti diperlukan untuk Indonesia yang merupakan negara rawan gempa), maka dianjurkan mengacu pada ASCE 41-17 *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Building*. Dokumen tersebut menjelaskan metodologi evaluasi keandalan seismik bangunan eksisting yang dapat menuntun kita pada kesimpulan apakah bangunan yang dikaji masih cukup andal secara seismik untuk konteks sisa masa layannya, ataukah diperlukan *retrofitting*. Dokumen ASCE tersebut juga sedang dalam proses adopsi ke dalam SNI yang akan terbit dalam waktu dekat (kalimat ini ditulis pada Agustus 2024).

Dalam bab ini akan menjelaskan konsep umum terkait proses pengamatan visual, pendefinisian *demand* dalam konteks analisis keandalan struktur, contoh-contoh teknis pengujian pada bangunan eksisting, serta analisis struktur bangunan eksisting. **Adapun ruang lingkup buku ini akan berfokus pada bangunan cagar budaya berbasis *masonry*.**



Gambar 99 Alur berpikir kegiatan asesmen keandalan struktur bangunan eksisting

Pengamatan Visual

Pemeriksaan visual, meski terlihat sederhana, namun memiliki peran dan fungsi yang penting dalam rangkaian tahapan asesmen struktur bangunan. Pemeriksaan visual diperlukan untuk memberikan gambaran dan justifikasi teknis awal terkait kondisi struktur bangunan eksisting.

Selama pengamatan visual berlangsung, kita dapat sekaligus melakukan pemetaan konfigurasi struktur maupun nonstruktur pada bangunan kemudian merekamnya dalam catatan maupun dokumentasi visual (umumnya berupa foto atau video). Pengukuran

konfigurasi bangunan juga diperlukan untuk mengkonfirmasi informasi geometri struktur yang tertera dalam dokumen *As-built drawing*, ataupun dalam rangka pemetaan konfigurasi struktur eksisting jika dokumen *As-built drawing* tidak lagi tersedia. Untuk kasus seperti itu, maka salah satu output yang harus dikeluarkan adalah gambar *as-built* kondisi terkini berdasarkan hasil survei lapangan. Sementara dari hasil survei tersebut output yang dihasilkan lebih ke aspek geometri, maka untuk melengkapi data aspek spesifikasi material akan dibutuhkan pengujian lapangan.

Selain mengumpulkan data geometri struktur komponen struktur maupun nonstruktur bangunan, pemeriksaan visual juga perlu mengidentifikasi kerusakan-kerusakan yang terjadi pada objek kajian. Umumnya setiap bentuk kerusakan yang terjadi perlu diambil fotonya dengan menjelaskan lokasi kerusakan yang terjadi dan komentar-komentar jika diperlukan. Gambar 100 menunjukkan contoh proses pelaksanaan pengukuran geometri struktur maupun pengamatan kerusakan akibat deteriorasi mutu material mortar terpasang, pada salah satu bangunan cagar budaya peninggalan kolonial Hindia-Belanda.



Gambar 100 Contoh pelaksanaan pemeriksaan visual pada bangunan cagar budaya Gedung Jusuf Anwar, Kementerian Keuangan

Pelaksanaan pengamatan visual dapat memanfaatkan peralatan-peralatan konvensional maupun modern. Pada era modern seperti sekarang ini, proses pelaksanaan pengamatan visual sudah dipermudah dengan hadirnya perangkat-perangkat teknologi pendukung seperti kamera digital maupun meteran laser (*disto meter*). Pengecekan ketegakan dapat menggunakan unting-unting, ataupun menggunakan laser level meter. Sedangkan untuk pengukuran retak, dapat menggunakan *crack gauge*. Contoh alat ukur dapat dilihat pada Gambar 101.



Meteran



Unting-unting



Disto meter



Crack gauge

Gambar 101 Contoh alat ukur untuk survei geometri dan konfigurasi struktur

Sementara itu mengumpulkan data visual, dapat menggunakan kamera digital. Semakin tinggi kualitas dan resolusi dari kamera yang digunakan, maka gambar yang dihasilkan semakin berkualitas juga. Penggunaan GPS akan memudahkan kita untuk melakukan *geotagging* khususnya jika bangunan yang diperiksa terletak pada *remote area* dengan pendefinisian alamat yang sering kali tidak jelas. Namun untuk konteks masa kini dengan hadirnya *smartphone*, maka fungsi kamera digital maupun GPS sudah tersedia secara *built-in* dalam satu *device*, sehingga akan memudahkan kita dalam melakukan pemeriksaan visual bangunan.



Gambar 102 Kamera digital dan GPS, serta smartphone sebagai alat bantu dalam pemeriksaan visual

Secara singkat, tahap pemeriksaan visual dapat membantu kita dalam mengidentifikasi permasalahan dalam hal geometri dan konfigurasi struktur maupun identifikasi indikasi-indikasi degradasi atau deteriorasi material akibat usia bangunan. Dengan diketahuinya konfigurasi struktur, maka kontinuitas alur beban dapat dipastikan. Selain itu, dari pengamatan visual juga kita dapat mengetahui kebutuhan jenis-jenis pengujian lapangan yang diperlukan.

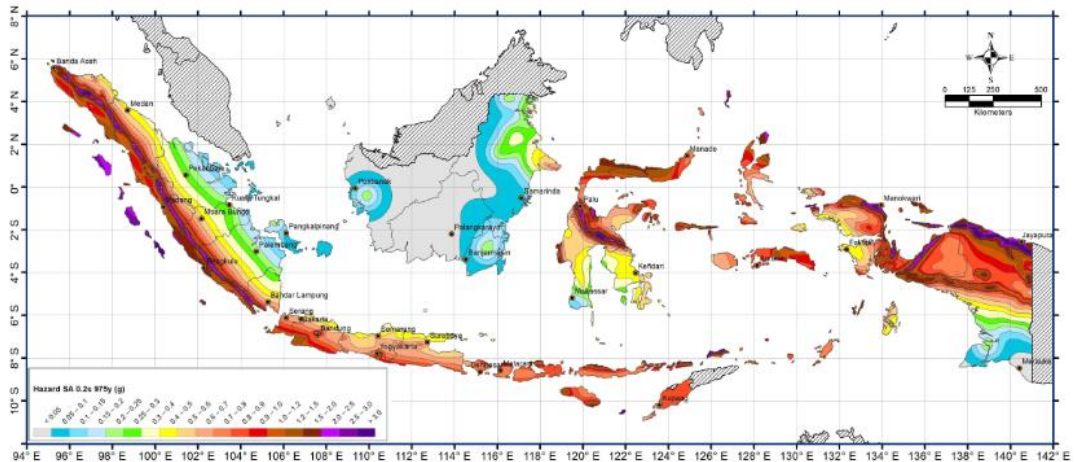
Demand Keandalan Struktur

Suatu sistem struktur harus memiliki kemampuan memikul beban luar sebagai *demand* dari keandalan strukturnya. Beban vertikal atau beban gravitasi yang dipikul bangunan dapat berupa beban mati (yang bersumber dari berat sendiri elemen struktur maupun berat dari seluruh komponen baik MEP ataupun arsitektural yang terdapat pada bangunan), beban hidup, maupun beban akibat dari faktor lingkungan seperti angin dan gempa bumi.

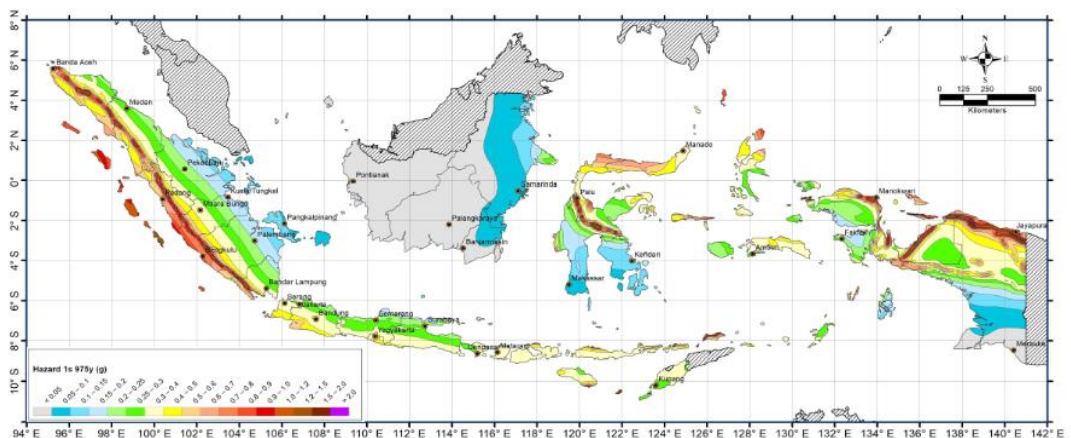
Besar beban hidup yang bekerja pada bangunan bergantung pada fungsi ruang atau hunian. Nilai beban minimum yang harus mampu dipikul bangunan diatur dalam SNI 1727:2020 Tabel 4.3. Sebagai contoh, ruangan yang difungsikan untuk penyimpanan harus mampu memikul beban hidup minimum sebesar $7,18 \text{ kN/m}^2$, lebih besar dibandingkan ruangan fungsi hunian sebesar $1,92 \text{ kN/m}^2$.

Sementara itu untuk aspek keandalan struktur terhadap beban gempa, maka kita dapat menggunakan peta gempa untuk keperluan evaluasi dan retrofit bangunan eksisting yang dikeluarkan oleh Direktorat Bina Teknik Permukiman dan Perumahan bersama dengan Pusgen. Perbedaan peta gempa tersebut terhadap peta gempa untuk desain bangunan baru yang tertuang dalam SNI 1726:2019 adalah terkait periode ulang yang digunakan

(pada peta gempa untuk evaluasi dan retrofit digunakan periode ulang gempa 225 tahun dan 975 tahun), mengingat umur layan bangunan baru umumnya berbeda dengan bangunan eksisting. Walau demikian, jika umur layan suatu bangunan eksisting diharapkan untuk ditambah lagi sebesar umur layan bangunan baru, maka tidak menutup kemungkinan asesmen tetap menggunakan peta gempa untuk desain bangunan baru. Contoh peta gempa untuk evaluasi bangunan eksisting dapat dilihat pada Gambar 103 dan Gambar 104.



Gambar 103 Contoh peta percepatan spektrum respons 0.2 detik untuk gempa periode ulang 975 tahun



Gambar 104 Contoh peta percepatan spektrum respons 1 detik untuk gempa periode ulang 975 tahun

Tantangan dalam Analisis Struktur Bangunan Cagar Budaya

Upaya rehabilitasi bangunan tua merupakan salah satu hal yang diperlukan dalam rangka preservasi dari suatu kawasan perkotaan, yang seiring dengan terbukanya suatu potensi dalam pemanfaatannya untuk perumahan maupun fungsi komersial maka pengembangan ekonomi di kawasan tersebut akan dapat ditunjang.

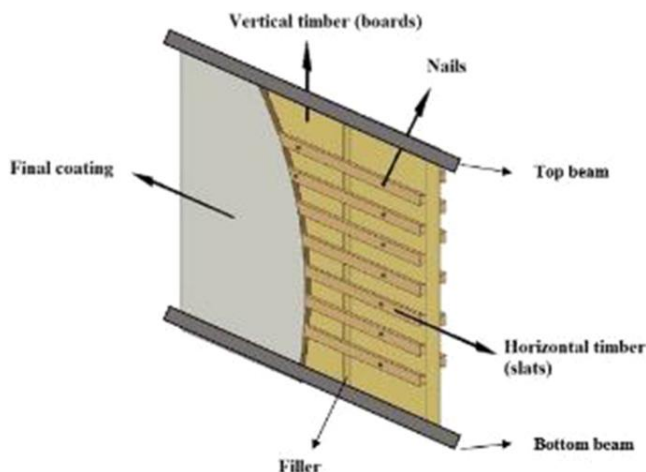
Tantangan akan muncul ketika kita melihat situasi, bahwa kebanyakan bangunan bersejarah/cagar budaya, yang ada di Indonesia ataupun di luar negeri, tidak dibangun dengan sistem struktur modern yang umum kita jumpai saat ini seperti struktur beton bertulang ataupun struktur rangka baja. Sebagai contoh, bangunan-bangunan tua yang ada di Indonesia, yang dibangun pada masa kolonial Hindia-Belanda, umumnya dibangun dengan struktur dinding pasangan bata pemikul beban (*masonry bearing wall*), dengan struktur atap dan diafragma menggunakan konstruksi kayu. Pada sistem struktur tersebut, beban-beban gravitasi maupun lateral akan dipikul sepenuhnya oleh elemen dinding pasangan bata. Karena fungsinya yang harus memikul beban yang cukup tinggi (terlebih pada bangunan bertingkat), maka umumnya tipologi bangunan-bangunan tersebut memiliki model pasangan bata yang berlapis, sehingga menghasilkan ketebalan dinding yang relatif tebal, berkisar 60 cm – 100 cm bahkan lebih. Pada masa kolonial tersebut, nampaknya perkuatan dengan penulangan belum tidak lazim dilakukan, jadi sistem struktur tersebut kemudian dikenal dengan istilah *Unreinforced Masonry* (URM). Dengan dinding yang cukup tebal, umumnya bangunan-bangunan tua URM menghasilkan struktur bangunan yang relatif **sangat kaku dan kuat**, namun kelemahannya adalah **sifat getasnya**, yang beresiko mengalami keruntuhan secara mendadak (mode kerusakan nondaktail) ketika kapasitas nominalnya terlampaui akibat menerima beban ekstrim (misal beban gempa besar).

Sistem struktur *Reinforced Masonry* (RM) dan *Confined Masonry* (CM) merupakan pengembangan dari model URM yang mulai dipopulerkan pada periode waktu berikutnya untuk menghasilkan bangunan yang lebih tahan gempa.



Gambar 105 Contoh bangunan tua di Eropa dengan sistem masonry, yang berkembang di Indonesia selama masa kolonialisasi (sumber : EESD Research Group, EPFL)

Pada beberapa negara seperti Portugal, terdapat sistem struktur yang mengkombinasikan sistem *masonry* dengan struktur kayu. Sebagai contoh, dinding-dinding eksterior dibangun menggunakan dinding pasangan bata (sistem *masonry*), sementara dinding-dinding interior dibangun berbasis dinding ringan berbahan kombinasi papan-papan kayu yang disusun baik secara vertikal ataupun horizontal lalu dibungkus dengan mortar. Sistem ini dikenal dengan istilah *tabique wall*, yang penggunaannya dapat difungsikan sebagai komponen struktural maupun nonstruktural.



Gambar 106 Contoh tipologi komponen dinding ringan tabique wall (sumber : Jose Padrao, Joao Guedes & Antonio Arede)

Verifikasi keandalan dan keamanan struktur bangunan cagar budaya yang akan direhabilitasi merupakan salah satu isu utama yang dihadapi oleh tenaga ahli struktur. Dalam hal rehabilitasi tersebut, banyak variabel yang harus diperhitungkan seperti kerusakan atau kegagalan yang nampak secara visual, perubahan fungsi bangunan, ataupun dalam hal proses asesmen/evaluasi keandalan seismiknya (Santos, 2003).

Praktis pelaksanaan proses analisis struktur saat ini umumnya dilakukan dengan cara pemodelan numerik komputer untuk melihat reaksi (seperti deformasi dan gaya dalam) struktur akibat beban aksi yang bekerja. Model numerik struktur yang dibuat tentunya harus bisa merepresentasikan perilaku struktur bangunan riil yang dimodelkan.

Teknik pemodelan bangunan tua mengandung perbedaan yang cukup signifikan dibandingkan dengan teknik pemodelan struktur bangunan modern (yang umumnya berupa bangunan beton bertulang atau bangunan baja). Ilmu pemodelan struktur yang merupakan turunan dari ilmu-ilmu mekanika teknik maupun mekanika bahan, telah cukup matang berkembang untuk struktur bangunan modern sehingga metodologi pemodelannya untuk sebagian besar sistem struktur sudah terverifikasi dan dibakukan dalam standar teknis perancangan struktur secara preseksriptif (misalnya dalam SNI struktur beton ataupun struktur baja). Ilmu pemodelan struktur yang sudah terverifikasi tersebut akan memungkinkan kita untuk dapat mengidentifikasi kerusakan struktur akibat berbagai macam bentuk beban aksi untuk kemudian membantu kita dalam membandingkannya dengan kerusakan yang terobservasi pada bangunan riil (ICOMOS 2003). Terverifikasinya suatu metodologi pemodelan numerik tersebut umumnya memerlukan kalibrasi terhadap berbagai macam hasil pengujian eksperimental di laboratorium sebelum dibakukan ke dalam dokumen standar perancangan.

Sementara perkembangan metodologi pemodelan struktur sudah berkembang untuk sistem struktur bangunan modern, lain halnya metodologi pemodelan pada struktur bangunan tua yang umumnya menggunakan sistem struktur *masonry*, dimana banyak variabel yang membuat proses pemodelan strukturnya suatu hal yang kompleks. Terlebih jika pada suatu struktur bangunan tua, terdapat kombinasi dari penggunaan material misalnya dinding bata dengan dinding kayu (semacam *tabique wall*).

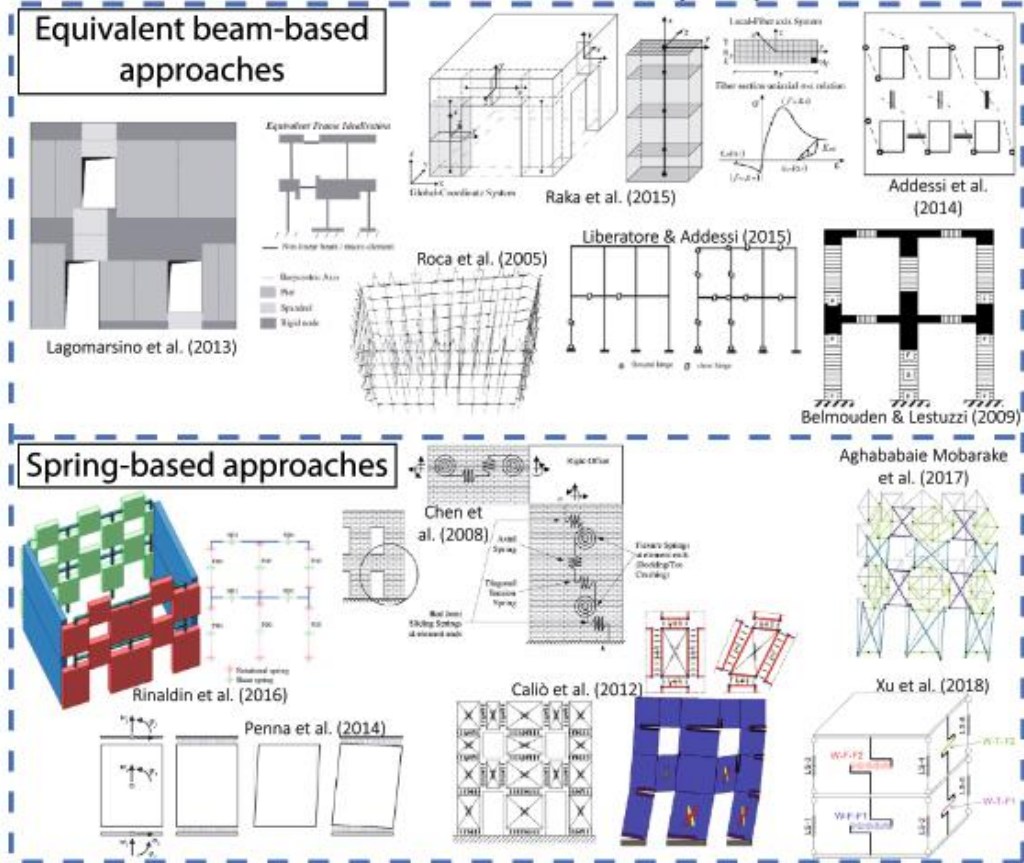
Namun demikian, berbagai riset tentang analisis struktur bangunan *masonry* terus berkembang hingga saat ini. Praktik yang umum dilakukan adalah menggunakan dua metode/pendekatan yaitu : pemodelan mikro (*micro modelling*) dan pemodelan makro (*macro modelling*). Meski buku ini akan memperkenalkan metode dan tantangan dalam hal analisis struktur bangunan tua berbasis *masonry*, namun tidak bermaksud menjelaskan secara mendetail mengenai tata cara pelaksanaan analisis. Hal itu akan lebih tepat jika disampaikan dalam buku terpisah yang khusus membahas aspek analisis struktur secara lebih mendetail.

Pemodelan makro dapat diterapkan pada struktur *masonry* yang dibangun dengan dinding yang tebal yang akan menghasilkan tegangan yang seragam pada elemen-elemennya. Dalam metode ini, struktur dinding diidealisasikan menjadi suatu elemen panel yang lebih

sederhana (umumnya dimodelkan sebagai elemen *piers* dan *spandrels*) dimana perilaku mekanisnya harus terlebih dahulu didefinisikan dalam elemen yang dimodelkan. Metode ini hanya mampu merepresentasikan perilaku *in-plane* dinding, sehingga untuk hasil analisis yang *reliable*, penggunaan metode ini harus dilakukan pada model struktur 3D sehingga transfer gaya-gaya lateral pada arah *in-plane* dinding dapat melalui perantara elemen diafragma bangunan dapat termodelkan. Pendekatan ini berfokus pada analisis respons global bangunan.

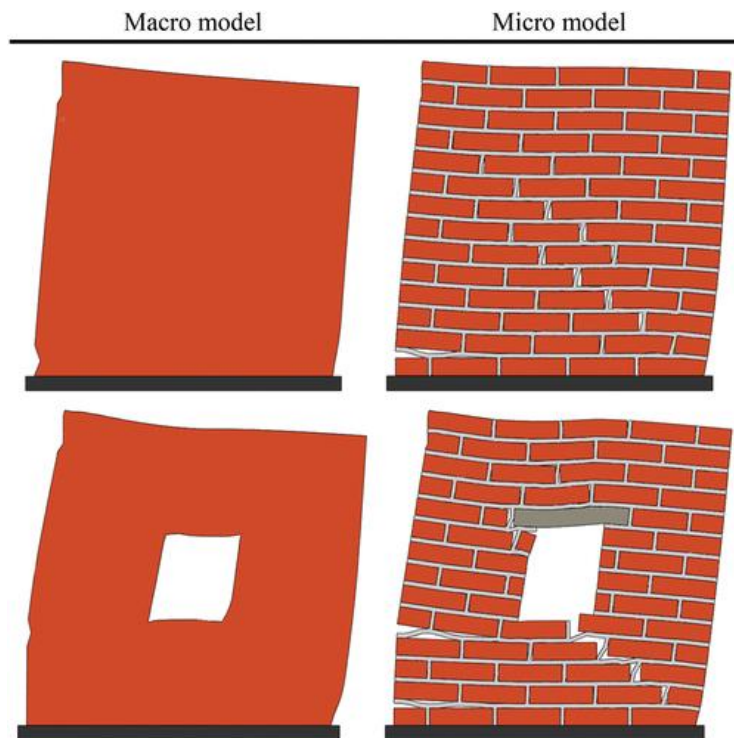
Keunggulan dari teknik pemodelan makro ini adalah proses pemodelan yang lebih sederhana dan tidak mengkonsumsi memori komputer yang besar sehingga proses *running analysis* akan lebih cepat. Implementasi dari pendekatan pemodelan makro itu sendiri dapat dilakukan dengan berbagai pendekatan, misalnya dengan cara *equivalent beam* (balok ekuivalen) dimana sistem dinding dimodelkan menggunakan elemen garis 2D, ataupun dengan pendekatan *spring-based* dimana elemen dinding dimodelkan dengan elemen pegas nonlinear. Sejauh ini tercatat bahwa penggunaan *equivalent beam* lebih banyak digunakan, namun tentunya pemilihan dari metode yang digunakan tentunya disesuaikan dengan melihat kesesuaian dari bangunan yang dimodelkan. Teknik pemodelan makro ini juga merupakan strategi pemodelan yang paling sering digunakan baik oleh praktisi maupun peneliti. Namun demikian, meski metode pemodelan makro ini memiliki beberapa keunggulan yang tadi telah disampaikan, namun tentunya terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan seperti adanya asumsi bahwa perilaku kegagalan *out-of-plane* dinding dianggap tidak terjadi. Hingga saat ini berbagai macam studi dan riset terus dilakukan untuk menyempurnakan metode pemodelan makro ini agar dapat mengidentifikasi bentuk-bentuk kerusakan yang sebelumnya diasumsikan tidak terjadi.

Macroelement models (MM)

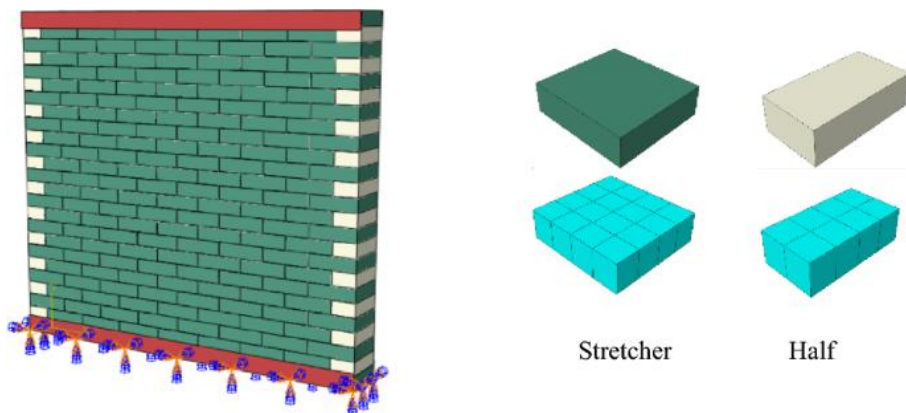


Gambar 107 Contoh teknik pemodelan makro dengan pendetakan equivalent beam dan elemen spring/pegas (sumber : Dàltri, Sarhosis, Milani, dkk)

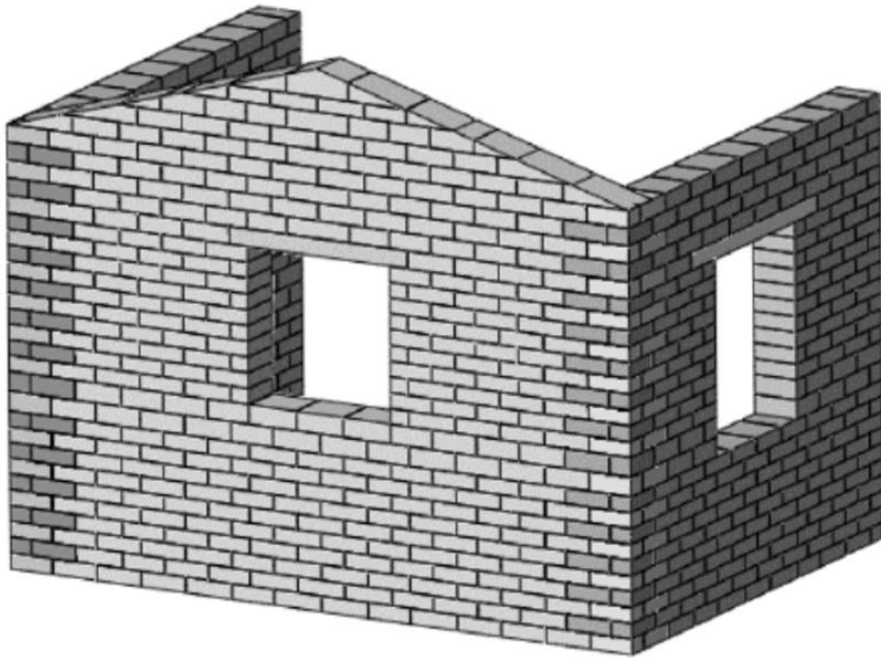
Di sisi lain, teknik pemodelan mikro digunakan untuk mengetahui perilaku struktur secara lebih mendetail, dengan memperhitungkan heterogenitas dan sifat nonlinear dari material yang digunakan pada bangunan. Berbeda dengan teknik pemodelan makro dimana elemen dinding bisa dimodelkan oleh suatu elemen homogen yang kontinu, pada metode pemodelan mikro, elemen struktur yang mewakili komponen bata dan mortar spesi akan dimodelkan sebagai elemen terpisah (Gambar 108). Selain itu, dengan metode ini berbagai macam detail fisik ataupun geometris pada struktur (misalnya mekanisme *toothing* pada pertemuan antar dinding yang saling tegak lurus) dapat dimodelkan (Gambar 110).



Gambar 108 Contoh model struktur makro vs mikro (sumber L Doran, Karslioglu, Aslan, dan Vatansever)



Gambar 109 Contoh dimana teknik pemodelan mikro yang memungkinkan pemodelan penggunaan material bata yang berbeda (sumber : Moradi, N., Yazdani, M., Janbozorgi, F. et al)



Gambar 110 Contoh teknik pemodelan mikro yang bisa memodelkan mekanisme tothing pada hubungan antar dinding (sumber : Chacara, Mendes, dan Lourenco).

Perilaku suatu struktur bangunan akan dipengaruhi oleh konfigurasi struktur (mencakup ukuran, bentuk denah, tinggi, dimensi komponen struktur, sambungan antar komponen struktur, dsb) dan material yang digunakan. Sementara itu responsnya terhadap beban seismik akan dipengaruhi oleh lokasi dan kondisi tanah dimana bangunan berada yang akan mempengaruhi *demand* beban gempa yang harus ditahan bangunan.

Bagi seorang tenaga ahli struktur, data-data seperti hasil pengamatan kondisi struktur eksisting (mencakup identifikasi dari seluruh patologi seperti pola dan distribusi retakan), survei geometri bangunan, dan juga karakterisasi material yang digunakan sangat diperlukan untuk mendukung proses pemodelan dan analisis struktur yang *reliable*. Selain itu, sangat dianjurkan agar model komputasi/numerik struktur yang dibuat untuk sedapat mungkin dikalibrasi atau diverifikasi terlebih dahulu terhadap hasil pengujian eksperimental baik yang dilakukan secara in-situ ataupun di laboratorium. Beberapa contoh terkait metode eksperimental yang dapat dilakukan dalam rangka memperoleh properti mekanis dari material ataupun subrakitan elemen struktur pada bangunan eksisting akan dibahas pada subbab berikutnya.

Contoh Pengujian Lapangan untuk Survei dan Investigasi Properti Material dan Parameter Struktur Penting Lainnya

Penanganan bangunan cagar budaya pada hakekatnya merupakan salah satu upaya preservasi nilai-nilai sejarah dan budaya pada suatu masyarakat, tradisi, daerah, atau negara. Dalam memilih metode penanganan yang tepat pada suatu bangunan cagar budaya atau bangunan bersejarah, diperlukan kehati-hatian dengan mempertimbangkan regulasi yang berlaku ataupun kondisi fisik dari bangunan eksisting. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui patologi bangunan atau derajat integritas material dari struktur bangunan yang dikaji, yang sebagian besar hanya dapat diketahui melalui proses pengujian.

Secara umum, berdasarkan efek kerusakan yang ditimbulkan, terdapat dua macam pengujian lapangan yang dapat dilakukan pada bangunan eksisting yaitu : pengujian destruktif dan nondestruktif. Pengujian destruktif adalah pengujian yang menyebabkan efek merusak pada objek kajian, oleh karena itu pelaksanaan pengujian destruktif harus dilaksanakan dengan skenario dan rencana kerja yang matang. Jumlah sampel pengujian destruktif harus dikontrol agar seminimal mungkin namun tetap menghasilkan output yang *reliable*. Beberapa pengujian destruktif sifatnya masih dapat diperbaiki (misalnya pengujian *core drill* pada struktur beton bertulang dapat diperbaiki dengan menambal kembali lubang bekas pengeboran), sehingga untuk pengujian semacam itu dapat dikatakan sebagai pengujian semi destruktif.

Sementara itu pengujian nondestruktif adalah pengujian yang sifatnya tidak memberikan efek merusak pada objek kajian. Umumnya biaya untuk pelaksanaan pengujian nondestruktif lebih ekonomis. Oleh karena sifatnya yang tidak merusak dan biaya yang lebih ekonomis, maka pengujian nondestruktif dapat dilakukan dengan jumlah sampel yang lebih banyak.

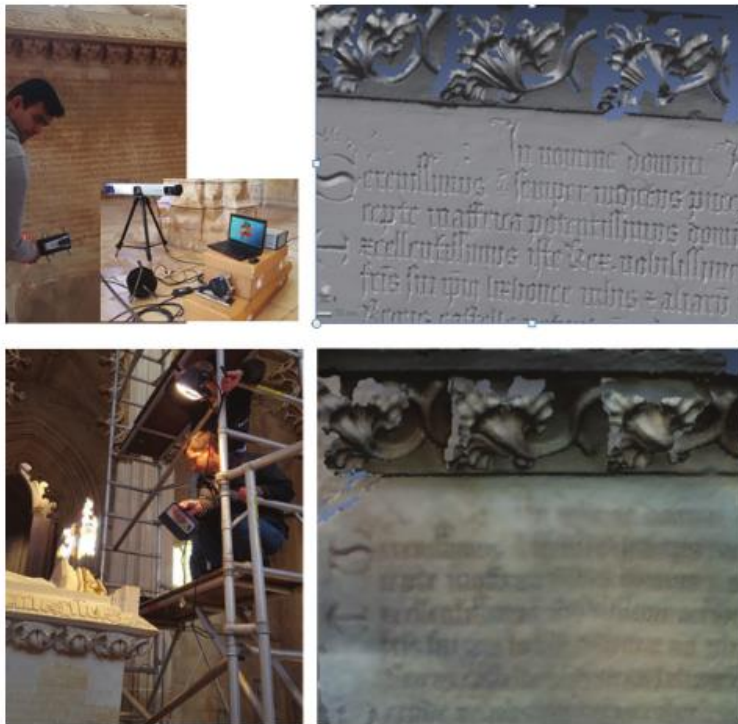
Dalam subbab berikutnya akan disampaikan berbagai macam contoh dan teknik pengujian lapangan (baik destruktif maupun nondestruktif) yang dapat diterapkan pada bangunan cagar budaya dengan sistem struktur *masonry*.

Terrestrial Laser Scanning

Teknologi *laser scanning* merupakan sistem LiDAR (*light detection and ranging*), yang telah merevolusi sistem akuisisi data visual tiga dimensi (3D), dengan pendekatan yang berbeda dengan metode konvensional sebelumnya yang berbasis pengolahan data fotografi seperti metode *photogrammetry*. Sistem *laser scanning* memanfaatkan sistem *active sensing*, menggunakan sebuah *laser beam* sebagai *sensing carrier*, lalu mengukur *time lag* antara emisi *laser beam* dan deteksi gema yang tersebar kembali. Sistem ini menghasilkan hasil data geometris berupa jarak, posisi, intensitas, and korindat.

Terrestrial Laser Scanning (TLS) adalah teknologi yang digunakan untuk membuat model 3D terperinci dari objek, bangunan, lanskap, atau lingkungan fisik lainnya. Sebuah perangkat yang disebut pemindai laser terrestrial menembakkan sinar laser ke segala arah. Sinar ini

mengenai objek di lingkungan (seperti bangunan, pohon, atau medan) dan memantulkan kembali ke pemindai. Pemindai mengukur berapa lama waktu yang dibutuhkan sinar laser untuk kembali. Dari sini, pemindai menghitung jarak yang tepat ke setiap titik di lingkungan. Pemindai mengumpulkan jutaan pengukuran jarak ini, yang membentuk "*point cloud*". Titik-titik ini adalah peta 3D yang sangat terperinci dari area yang dipindai. TLS dapat dimanfaatkan untuk pemetaan, konstruksi, arkeologi, maupun studi kehutanan dan lingkungan. Gambar 111 menunjukkan *scanning* bangunan Santa Maria da Vitoria of Batalha di Portugal menggunakan dua sistem TLS yang berbeda.



Gambar 111 Scanning bangunan Santa Maria da Vitoria of Batalha di Portugal menggunakan dua sistem TLS yang berbeda (sumber : Luisa, Florindo, dan Hugo)

Ground-Penetrating Radar

Ground-Penetrating Radar (GPR) adalah metode pantulan gelombang elektromagnetik berbasis prinsip pantulan seismik. Metode tersebut merupakan salah satu teknik geofisika untuk investigasi dangkal dengan resolusi tinggi, dengan berbagai pengembangan dan implementasi baru pada masa kini. Metode geofisika ini didasarkan pada emisi pulsa elektromagnetik yang sangat pendek dalam pita frekuensi tertentu.

Frekuensi dengan rentang 10 – 1000 MHz digunakan untuk penerapan investigasi dalam bidang geologi dan engineering. Sementara itu gelombang dengan frekuensi lebih tinggi dari 1000 MHz digunakan untuk pengujian material dengan tingkat *advanced*.

Sebagai contoh, antena frekuensi sangat tinggi dengan kisaran 1 GHz cocok untuk digunakan pada kajian detail permukaan yang dapat dimanfaatkan untuk karakterisasi kerusakan seperti retak, menentukan tebal dinding, dan juga deteksi kelembaban di dalam suatu struktur.

Metode GPR dapat dimanfaatkan dalam survei geometri untuk mengetahui homogenitas atau heterogenitas suatu benda. Contoh praktek pada survei bangunan gereja medieval di L'Aquila oleh Ranalli et al. (2004), metode GPR digunakan untuk mengumpulkan data ketebalan dinding, struktur pasangan bata internal, serta lokasi terjadinya disintegrasi elemen atau retak.

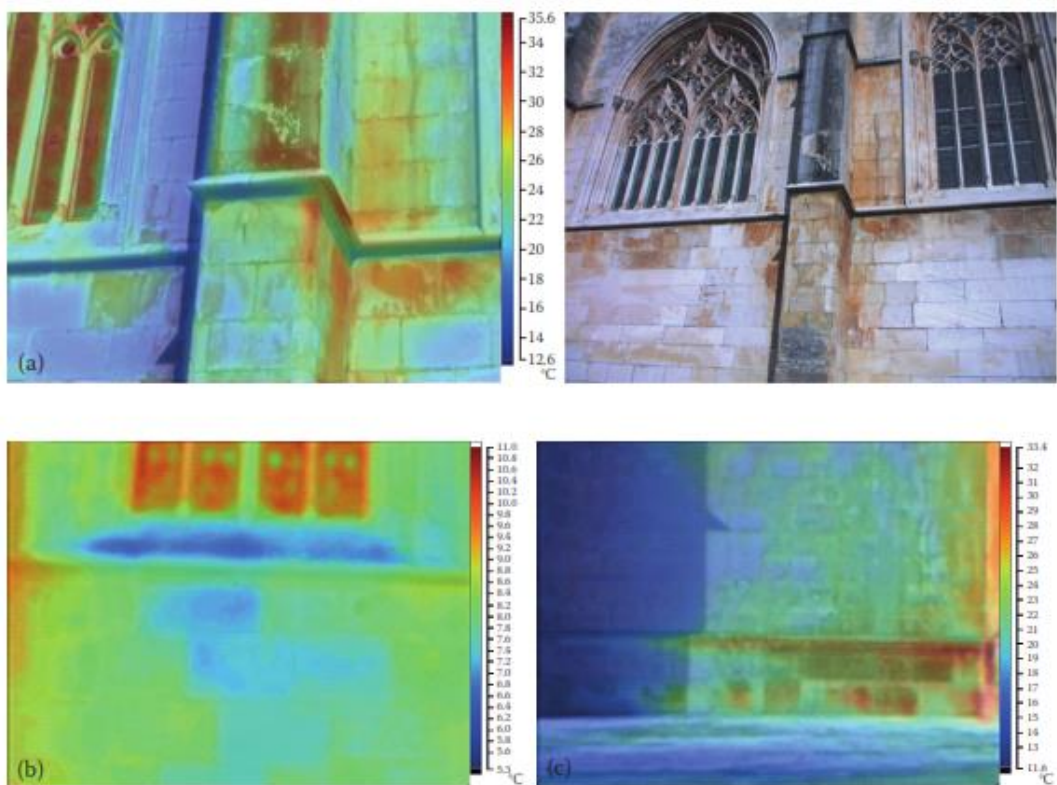
Infrared Thermography

Thermography adalah suatu teknologi yang mengkombinasikan gambar visual dan inframerah. Bentuk dari *thermography* adalah pemetaan kontur warna pada suatu objek sesuai dengan tingkat temperatur yang dimilikinya. Radiasi inframerah diemisikan oleh permukaan benda, lalu sebuah kamera inframerah menangkapnya untuk diubah menjadi suatu kontur warna.

Dalam dunia teknik sipil, teknologi *thermography* dapat dimanfaatkan untuk membedakan material maupun mengukur heterogenitas material penyusun suatu objek, deteksi rongga, serta mengetahui keadaan degradasi atau kelembaban.

Contoh penerapan teknologi *thermography* untuk inspeksi bangunan bersejarah, seperti Grinzato et al. (2002b) melakukan pemeriksaan Chapel Scrovegni di Italia, untuk mendeteksi struktur tersembunyi yang terbuat dari material yang berbeda yang tertanam dalam dinding. Merla et al. (2009) menggunakan teknologi ini untuk deteksi retak pada bangunan *heritage* setelah gempa L'Aquila.

Gambar 112 menunjukkan proses pemeriksaan Santa Maria da Vitoria Monastery, Batalha menggunakan teknologi *thermography*. Dari hasil pemetaan kontur temperatur, diketahui bahwa temperatur lebih tinggi pada batuan dengan warna yang lebih gelap akibat penyerapan radiasi sinar matahari yang lebih tinggi dibandingkan dengan batu yang berwarna cerah. Di tempat lain, dijumpai perbedaan temperatur permukaan dari beberapa batuan, yang diyakini bahwa batu-batu tersebut pernah diganti dengan batu yang memiliki perilaku berbeda dibandingkan batu-batu disekelilingnya, yang ditegaskan oleh fakta bahwa batu-batu yang diyakini merupakan batu baru pengganti menghasilkan temperatur yang lebih dingin. Batu-batu tersebut juga kemungkinan memiliki ketebalan yang lebih tipis.



Gambar 112 Contoh penggunaan teknologi infrared thermography pada pemeriksaan Santa Maria da Vitoria Monastery, Batalha (sumber : Flavio, Florindo, dan Hugo)

Uji dengan Ultrasound

Tujuan dari teknik ini adalah untuk mencari korelasi antara properti cepat rambat gelombang *ultrasound* terhadap properti material. Cepat rambat gelombang yang melalui dua titik yang dipancarkan dari satu *transducer* pemancar gelombang dengan satu *transducer* penerima gelombang melalui persamaan berikut :

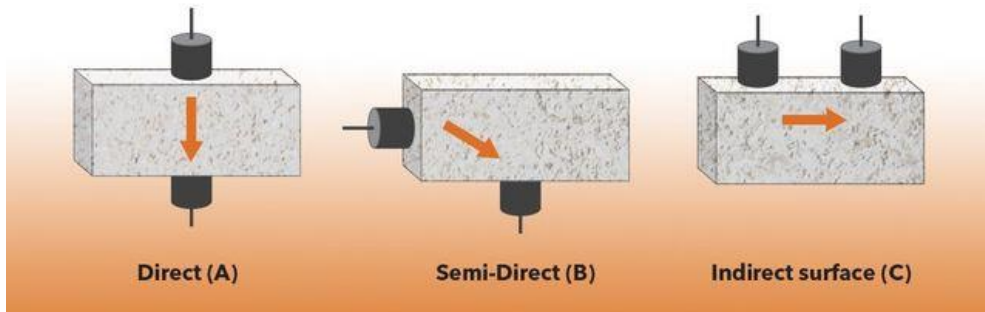
$$V = \frac{L}{T}$$

Dimana :

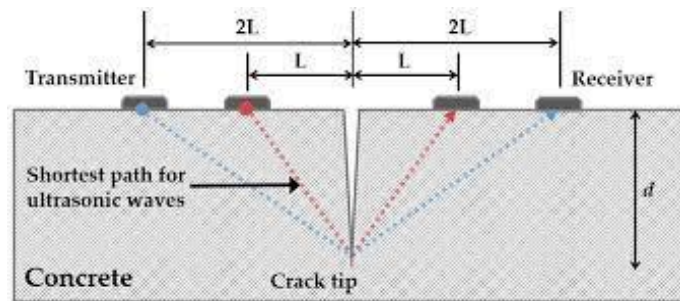
V (m/s) adalah cepat rambat gelombang *ultrasound*, L (m) adalah jarak antara *transducer*, dan T (s) adalah waktu rambat gelombang.

Penggunaan gelombang *ultrasound* memungkinkan kita untuk melakukan pengujian nondestruktif secara efisien untuk berbagai macam material. Melalui pengujian dengan gelombang ini, kita dapat mengetahui keadaan dan karakteristik suatu material. Cepat rambat gelombang yang terukur dipengaruhi kerapatan/densitas dari material yang diuji. Semakin tinggi densitas material yang dilalui gelombang, maka cepat rambat yang dihasilkan akan semakin tinggi juga.

Skema metode pengukuran cepat rambat gelombang/penempatan *transducer* pemancar gelombang dan *transducer* penerima gelombang dapat dilihat pada Gambar 113. Umumnya untuk mengetahui homogenitas material atau mutu material perlu dilakukan metode pengukuran secara *direct*. Metode pengukuran *indirect surface* umumnya dilakukan untuk tujuan pengukuran kedalaman retak (Gambar 114).



Gambar 113 Metode pengukuran cepat rambat gelombang ultrasound



Gambar 114 Pengukuran kedalaman retak dengan gelombang ultrasound

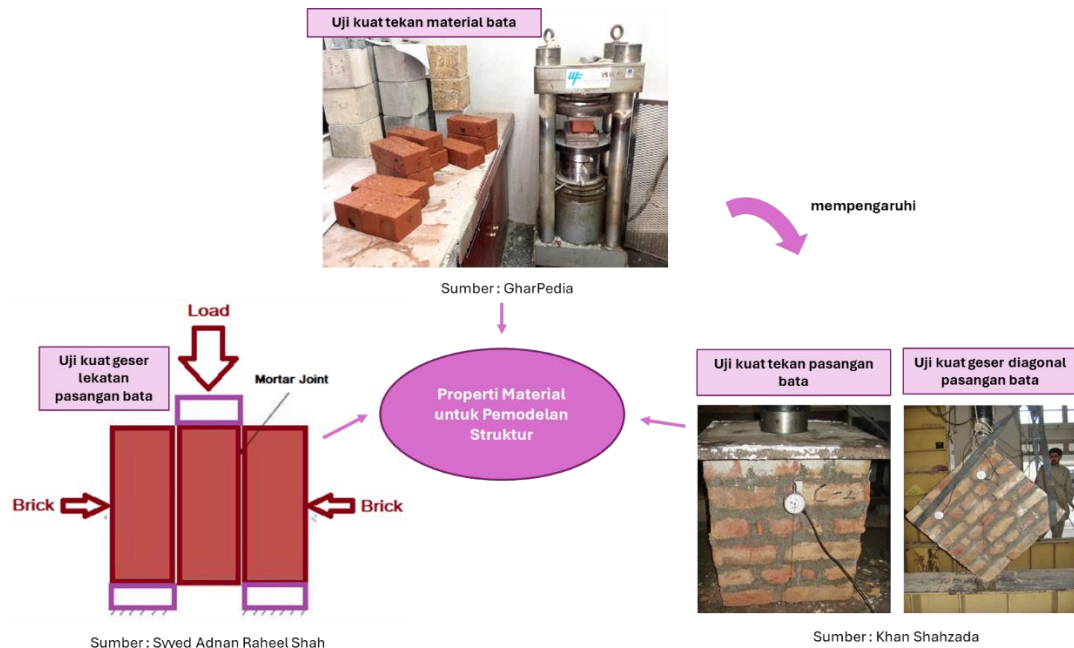


Gambar 115 Contoh pelaksanaan pengujian ultrasound pada bangunan heritage

Uji In-situ Indeks Kuat Geser pada Sambungan Mortar pasangan Bata

Kekuatan dari sistem struktur bangunan berbasis pasangan bata (*masonry*) bergantung pada berbagai faktor, seperti kuat tekan dari material bata yang digunakan maupun kuat tekan dan lekatan dari spesi-spesi mortar yang mengikat pasangan bata. Kedua variabel tersebut berikutnya akan mempengaruhi parameter sistem struktur pasangan bata seperti kuat tekan pasangan bata (f'_m), kuat geser pasangan bata (v_m), dan juga kuat geser lekatan bata.

Gambar 116 menunjukkan contoh skema pengujian laboratorium yang dapat dilakukan untuk mendapatkan parameter mekanis pasangan bata yang diperlukan untuk melakukan pemodelan sistem struktur *masonry*. Nilai kuat tekan pasangan bata (f'_m) dan kuat geser pasangan bata (v_m) berturut-turut dapat diperoleh dari pengujian kuat tekan dan kuat geser diagonal pasangan bata. Secara analitis, nilai kuat tekan pasangan bata (f'_m) dipengaruhi juga oleh parameter kuat tekan material bata-bata penyusunnya juga kuat tekan mortar spesi pengikat pasangan bata. Sementara itu untuk mengetahui kekuatan geser lekatan, dapat dilakukan uji kuat tekan lekatan pasangan bata. Umumnya jika terjadi kegagalan akibat lekatan pada struktur pasangan bata, dapat menyebabkan terjadinya bentuk kegagalan *sliding shear* pada struktur pasangan bata.



Gambar 116 Contoh pengujian laboratorium untuk mengetahui properti material dan mekanis struktur pasangan bata

Namun demikian, pengujian-pengujian yang disebutkan di atas umumnya dilakukan dalam konteks desain dan perancangan struktur bangunan baru. Benda uji mewakili material-material yang akan digunakan untuk konstruksi di lapangan. Dalam konteks pemeriksaan bangunan eksisting, maka jika diperlukan properti-properti material tersebut perlu

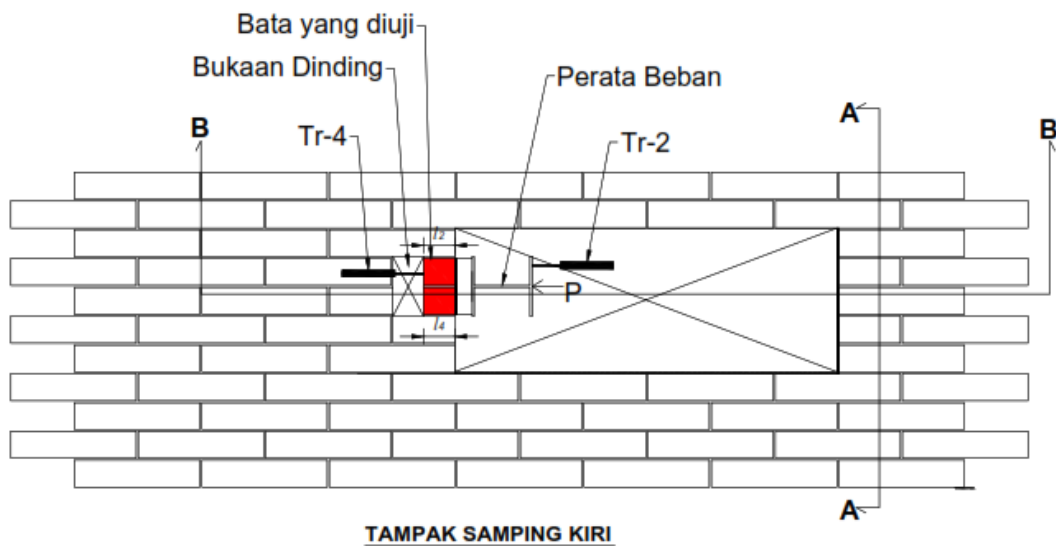
dilakukan pengambilan sampel dari bagian bangunan riel yang dikaji. Tentunya hal ini bukan hal yang mudah dan relatif mengandung risiko yang tinggi jika dilakukan. Terlebih pada kasus bangunan cagar budaya, dimana kondisi keaslian bangunan merupakan variabel yang sangat vital untuk dijaga. Pengambilan sebagian elemen bangunan untuk keperluan pengujian atau lainnya, perlu atas seizin pihak yang berwenang dan juga dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai faktor risiko secara matang.

Pengujian destruktif untuk mengetahui kekuatan lekatan mortar spesi pasangan bata dapat dilakukan secara in-situ di lapangan dengan mengacu pada **ASTM C1531-16** tentang *Standard Test Methods for In Situ Measurement of Masonry Mortar Joint Shear Strength Indeks*. Praktek pengujian ini pernah dilaksanakan oleh tim dari Direktorat Bina Teknik Permukiman dan Perumahan dalam rangka kegiatan advis teknis Gedung AA Maramis pada tahun 2021. Pengujian ini dilakukan dalam rangka mengumpulkan data-data properti mekanis struktur pasangan bata untuk keperluan pemodelan struktur.

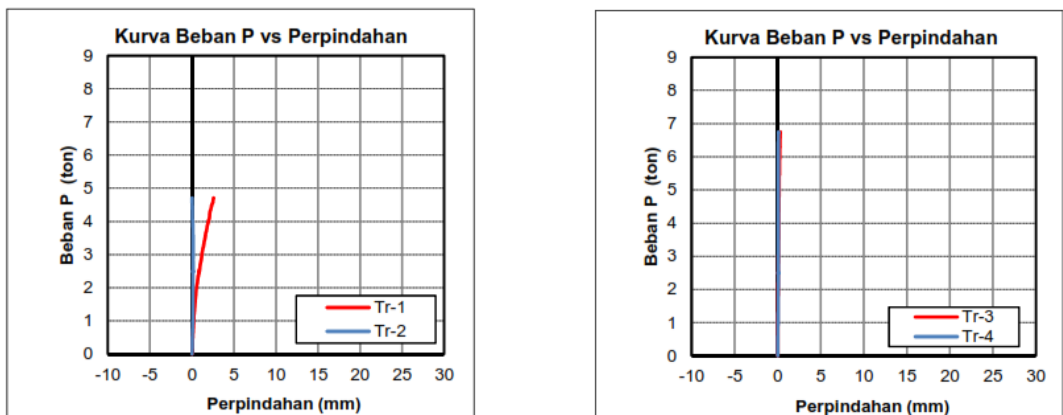
ASTM C1531-16 adalah metode uji standar yang dikembangkan oleh ASTM International untuk menentukan kekuatan ikatan sistem perekat yang digunakan dalam aplikasi pelapisan kaca struktural. Standar ini khususnya relevan untuk menguji perekat yang merekatkan kaca atau material lain ke substrat struktural, seperti logam, pada bangunan dan konstruksi lainnya.

Standar ini membantu memastikan keamanan dan kinerja sistem perekat yang digunakan dalam aplikasi struktural kritis. Standar ini membantu produsen dan teknisi memverifikasi bahwa produk perekat mereka memenuhi persyaratan kekuatan yang diperlukan untuk integritas struktural jangka panjang.

Secara umum, pengujian kuat geser in situ tersebut dilakukan dengan cara membongkar sebagian kecil bagian pasangan dinding bata yang hendak diuji, dengan menyisakan bagian segmen pasangan bata yang akan diberikan beban. Tipikal setup pengujian ditunjukan melalui Gambar 117. Beban lateral P diberikan menggunakan *hydraulic jack*, dan disalurkan menggunakan perata beban menggunakan profil baja IWF agar beban lateral terdistribusi secara merata. Selama pembebanan berlangsung, deformasi pada pasangan bata dikontrol dan diukur menggunakan *transducer* atau LVDT (pada gambar disimbolkan dengan anotasi Tr). Output dari pengujian tersebut adalah kurva kapasitas hubungan beban P vs perpindahan Δ seperti dicontohkan pada Gambar 118. Contoh dokumentasi foto-foto kegiatan pengujian dapat dilihat pada Gambar 119 dan Gambar 120.



Gambar 117 Setup uji geser bata in situ Gedung AA Maramis (sumber : BBSBG, Dit. BTPP, DJCK Kem PUPR)



Gambar 118 Grafik hubungan beban (P) dan perpindahan (δ) (sumber : BBSBG, Dit. BTPP, DJCK Kem PUPR)





Gambar 119 Dokumentasi pengujian geser in situ Gedung AA Maramis (sumber : Dit BTTP)



Gambar 120 Dokumentasi pengujian in situ Gedung AA Maramis oleh tim Direktorat BTTP

Metodologi Evaluasi Bangunan Eksisting Berdasarkan ASCE 41-17

ASCE 41-17 *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings* merupakan standar yang berisi ketentuan untuk evaluasi seismik dan retrofit bangunan gedung. Evaluasi Seismik didefinisikan sebagai metodologi yang diakui untuk mengevaluasi defisiensi pada suatu bangunan yang dapat menghalangi bangunan dalam mencapai kinerja yang diinginkan (*performance objective*).

Standar ini menyediakan tiga jenjang (*tiers*) prosedur untuk evaluasi seismik dan dua jenjang prosedur untuk seismik retrofit suatu bangunan eksisting yang disesuaikan untuk penggunaan di area dengan berbagai tingkat seismisitas. Dalam standar ini terdapat beberapa alternatif prosedur evaluasi yang berbeda-beda yang bergantung pada berbagai faktor seperti tipe bangunan dll. Untuk menentukan prosedur yang tepat untuk diambil, perlu diketahui beberapa informasi umum bangunan.

Dalam ASCE 41-17 Pasal 3.2, disampaikan bahwa dalam pelaksanaan evaluasi bangunan eksisting akan diperlukan informasi teknis bangunan (*As-built information*). Informasi teknis tersebut diperlukan untuk mengetahui konfigurasi bangunan secara umum, komponen-komponen bangunan (struktural maupun nonstruktural), karakteristik lokasi dan pondasi, serta situasi struktur bangunan lain di sekitar bangunan yang dikaji (*adjacent structures*).

Data-data tersebut harus diperoleh dari dokumen teknis seperti gambar *As-built drawing*, Spesifikasi Teknis, Laporan Perencanaan Struktur, dsb. Data-data sekunder tersebut harus ditambah dan diverifikasi dengan investigasi lapangan, meliputi pemeriksaan non-destruktif maupun pengujian material dan atau komponen struktur bangunan yang akan diperlukan dalam pelaksanaan evaluasi Tier 1 hingga Tier 3.

Tier 1 Screening

Tier 1 Screening merupakan langkah awal dalam pelaksanaan evaluasi seismik suatu bangunan. Pada awal pelaksanaan evaluasi Tier 1, perlu diketahui tingkat kinerja (*performance level*), tingkat bahaya seismik (*seismic hazard level*), dan tingkat seismisitas (*level of seismicity*) dari bangunan yang dievaluasi. Tingkat kinerja (*performance level*) harus ditentukan oleh pemilik bangunan dengan berkonsultasi pada tenaga profesional dan pihak instansi/dinas yang berwenang atau mengacu pada Tabel 14. Tingkat seismisitas (*level of seismicity*) dapat ditentukan dengan mengacu pada Tabel 15.

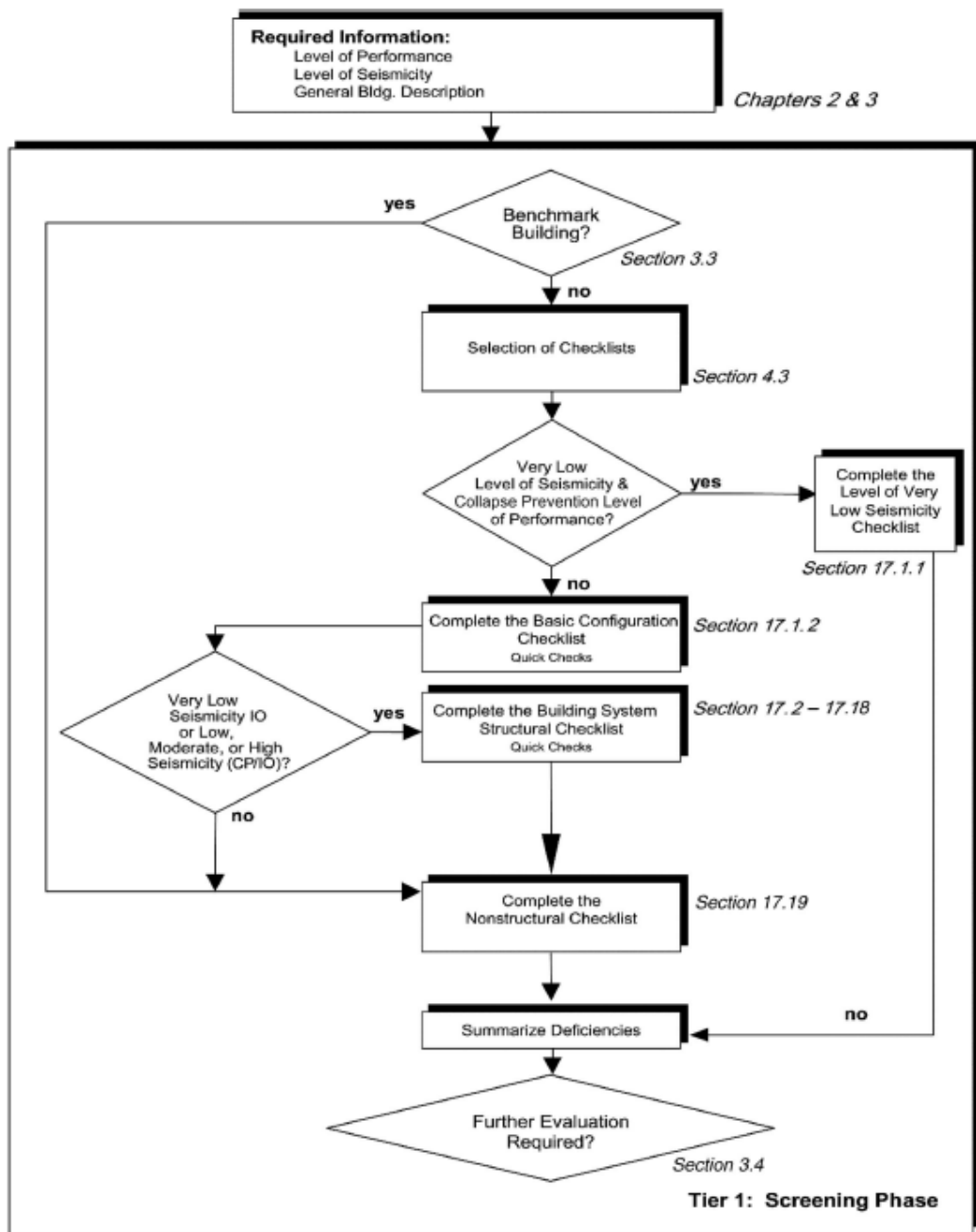
Pelaksanaan evaluasi kemudian dilanjutkan dengan pengisian prosedur pemeriksaan lebih rinci berupa daftar simak/ceklis sesuai dengan tipe dan resiko gempa bangunan yang dievaluasi. Alur dari pelaksanaan pemeriksaan Tier 1 *Screening* dapat dilihat pada Gambar 121.

Tabel 14 Target kinerja untuk bangunan eksisting (sumber : ASCE 41-17)

Risk Category	Tier 1 and 2 ^a	
	BSE-1E	BSE-2E
I and II	Not evaluated	Collapse Prevention Structural Performance
	Life Safety Nonstructural Performance (3-C)	Hazards Reduced Nonstructural Performance ^b (5-D)
III	Not evaluated	Limited Safety Structural Performance ^c
	Position Retention Nonstructural Performance (2-B)	Hazards Reduced Nonstructural Performance ^b (4-D)
IV	Immediate Occupancy Structural Performance	Life Safety Structural Performance ^d
	Position Retention Nonstructural Performance (1-B)	Hazards Reduced Nonstructural Performance ^b (3-D)

Tabel 15 Tingkat seismisitas (sumber : ASCE 41-17)

Level of Seismicity ^a	S_{DS}	S_{D1}
Very low	<0.167 g	<0.067 g
	≥0.167 g	≥0.067 g
Low	<0.33 g	<0.133 g
	≥0.33 g	≥0.133 g
Moderate	<0.50 g	<0.20 g
	≥0.50 g	≥0.20 g
High	≥0.50 g	≥0.20 g

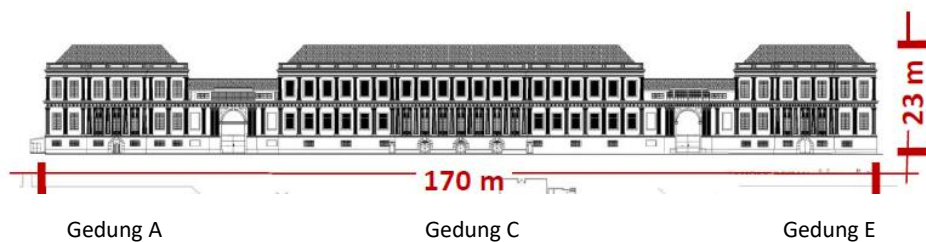


Gambar 121 Alur pelaksanaan evaluasi Tier 1

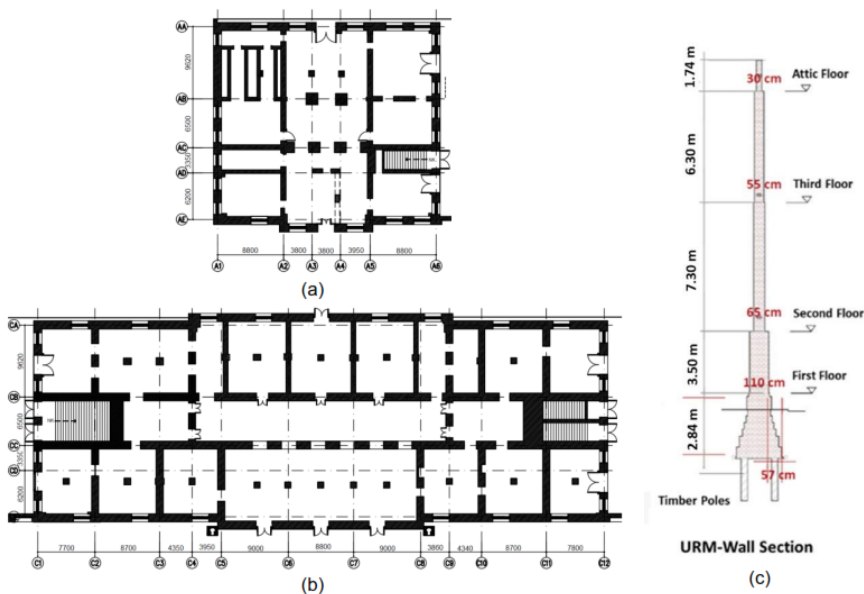
Contoh Kasus 1 : Praktek Asesmen Bangunan Gedung AA Maramis berdasarkan ASCE 41-17

Informasi Umum Bangunan Gedung AA Maramis

Bangunan gedung AA Maramis adalah salah satu bangunan cagar budaya yang dibangun pada masa pemerintahan Hindia Belanda. Bangunan tersebut dibangun pada tahun 1809, dan saat ini berada di kompleks Kementerian Keuangan Indonesia di Jakarta Pusat. Bangunan tersebut dibangun dengan sistem struktur *Unreinforced Masonry* (URM), yaitu sistem struktur dimana dinding-dinding bata pada bangunan bekerja sebagai elemen penahan beban tanpa adanya perkuatan dari tulangan ataupun kolom dan balok struktur. Umumnya bangunan URM yang dibangun oleh kolonial Hindia Belanda, relatif lebih tebal dibandingkan dengan dinding pasangan bata yang sering dijumpai pada masa kini (tebal bangunan pada masa itu bisa mencapai 60 – 100 cm atau bahkan lebih). Tampak muka, denah, dan potongan dinding dari Gedung AA Maramis dapat dilihat pada Gambar 122 dan Gambar 123.



Gambar 122 Tampak muka gedung AA Maramis

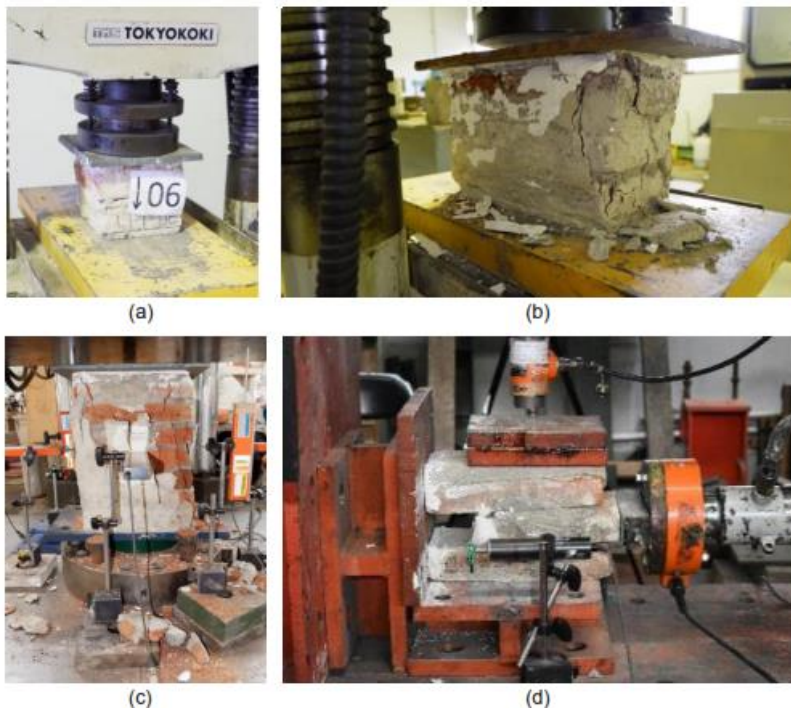


Gambar 123 (a) Denah Gedung A (b) Denah Gedung C (c) Potongan penampang dinding
sumber : Wijanto, Andriano, Setiawan, dan Tanudjaja

Pengumpulan Data Penting

Analisis keandalan struktur bangunan Gedung AA Maramis akan dilaksanakan dengan melakukan analisis struktur eksisting secara numerik sesuai dengan prosedur dalam ASCE 41-17. Mengingat bahwa umur bangunan sudah mencapai lebih dari 200 tahun, maka tidak diketahui besar beban gempa desain yang digunakan saat tahap perancangan.

Untuk keperluan pemodelan numerik struktur, data-data properti material akan sangat dibutuhkan. Pengambilan sebagian kecil dinding bata eksisting untuk sampel pengujian laboratorium (tentunya atas seizin pemilik bangunan dan persetujuan seluruh pihak terkait) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 124 (pengujian dilaksanakan di laboratorium Direktorat Bina Teknik Permukiman dan Perumahan). Data-data properti material juga diperoleh dari hasil uji lapangan in situ seperti yang telah disampaikan pada Gambar 118 dan Gambar 119. Dari pengujian-pengujian tersebut, diperoleh data material *properties* dari sistem pasangan bata (*masonry*) seperti ditunjukkan pada Tabel 16.



Gambar 124 (a) Uji tekan dua lapis pasangan bata (b) Uji tekan tiga lapis pasangan bata (c) Uji prismatik tujuh lapis (d) Uji geser lekatan

sumber : Wijanto, Andriono, Setiawan, dan Tanudjaja; tim Direktorat Bina Teknik Permukiman dan Perumahan

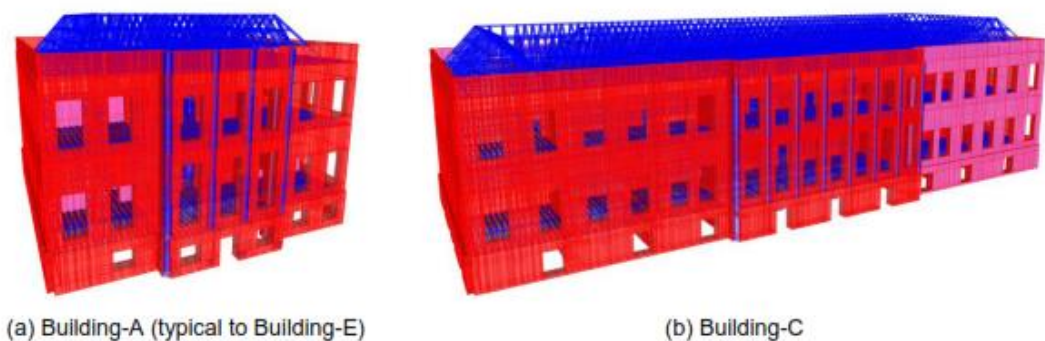
Tabel 16 Property material pasangan bata (masonry)

Property Material	
Berat jenis	14 kN/m ³
Modulus elastisitas (E_m)	3,570 MPa
Poisson rasion (μ)	0.25
Shear Modulus (G_m)	1,428 MPa
Kuat tekan <i>masonry expected</i> (f_{me})	5,10 MPa
Kuat tekan <i>masonry lower bound</i> (f'_m)	3,81 MPa
Rata-rata kuat geser lekatan (V_{te})	0,15 MPa

Pemodelan dan Analisis Struktur

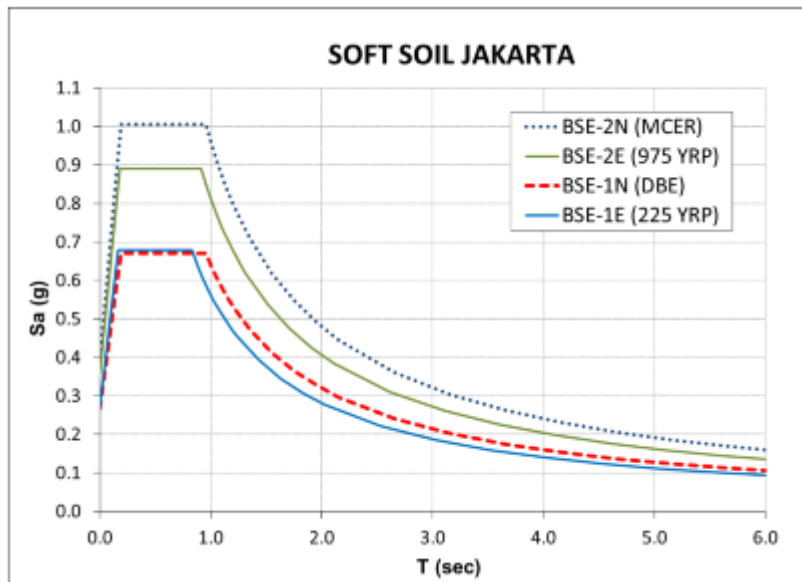
Bangunan gedung AA Maramis menggunakan struktur URM dengan diafragma fleksibel yang tersusun atas lantai dan konstruksi atap kayu. Dalam subbab ini akan dibahas mengenai teknik pemodelan bangunan URM gedung AA Maramis yang dilakukan oleh Wijanto, S ., et al (2021).

Pemodelan numerik dilakukan dengan memodelkan seluruh elemen stuktur bangunan objek kajian yang terdiri atas dinding pasangan bata maupun konstruksi kayu lantai dan atap. Pemodelan dilakukan menggunakan *software* SAP2000 v21.2.0, dan berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa pemodelan berbasis elemen hingga dinding *masonry* menggunakan SAP2000 dapat merepresentasikan perilaku struktur riel yang diketahui dari hasil uji eksperimental. Bentuk dari model numerik struktur ditunjukkan pada Gambar 125.



Gambar 125 Model numerik struktur menggunakan SAP2000
sumber : Wijanto, Andriono, Setiawan, dan Tanudjaja

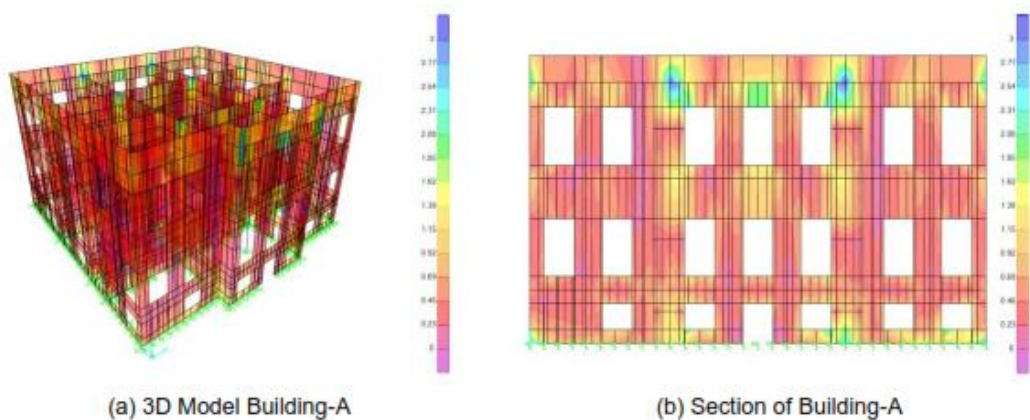
Seluruh pembebanan dimodelkan pada model numerik, meliputi beban gravitasi (berat sendiri komponen struktur maupun nonstruktur bangunan), beban hidup sesuai fungsi tiap ruang, dan beban gempa menggunakan spektrum respons untuk kota Jakarta (mengambil level *hazard* BSE-1E yaitu level gempa periode ulang 225 tahun).



Gambar 126 Spektrum respons kota Jakarta
sumber : Wijanto, Andriano, Setiawan, dan Tanudjaja

Selanjutnya struktur URM dapat dimodelkan menggunakan beberapa opsi : (a) dinding bata dimodelkan menggunakan elemen *shell*, atau (b) dinding bata dimodelkan menggunakan *solid element*. Pemodelan dengan menggunakan *solid element* akan menghasilkan matriks kekakuan elemen dan struktur maupun *degree of freedom* yang lebih besar sehingga akan membutuhkan kapasitas *memory* maupun *processor* komputer yang lebih tinggi.

Gambar 127 menunjukkan contoh hasil *running* analisis struktur menggunakan metode analisis statik linear elastis berupa kontur tegangan von mises yang terjadi pada dinding akibat kombinasi beban envelope (beban maksimum) dimana dinding dimodelkan menggunakan elemen *shell*. Hasil analisis menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi sebesar 3 MPa. Dari output kontur tegangan tersebut, kita bisa membandingkan besar tegangan yang terjadi (sebagai *demand*) terhadap kapasitas tegangan dari elemen dinding (*supply*) yang nilainya dipengaruhi oleh properti material seperti diuraikan pada Tabel 16. Jika kondisi tegangan yang terjadi melebihi tegangan yang diizinkan, artinya diperlukan perkuatan atau *retrofit* pada elemen struktur tersebut.



Gambar 127 Kontur tegangan von mises yang terjadi pada komponen dinding akibat envelope kombinasi beban gravitasi dan gempa (sumber : Wijanto, Andriano, Setiawan, dan Tanudjaja)

Contoh Kasus 2 : Analisis Model Struktur Bangunan Bersejarah dengan Kombinasi Struktur *Masonry* dan Dinding Kayu

Informasi Umum Bangunan Gedung

Dalam contoh kasus ini, akan dibahas pemodelan struktur bangunan bersejarah dengan sistem struktur kombinasi *masonry* dan dinding kayu model *tabique wall*. Bangunan studi kasus adalah salah satu bangunan bersejarah (cagar budaya) yang terletak di Kota Leiria, Portugal. Data-data teknis yang disampaikan dalam subbab ini mengacu pada dokumen karya tulis yang telah disusun oleh Silva, Veludo, dan Santos. Meski bangunan tersebut tidak berada di Indonesia, namun secara konsep teknis bahwa metodologi dalam analisis bangunan tersebut analog dan dapat diterapkan juga untuk analisis bangunan cagar budaya berbasis *masonry* yang ada di Indonesia.

Bangunan studi kasus merupakan bangunan fungsi rumah tinggal (residensial) tiga lantai, dengan bentuk denah trapezoidal berdimensi 11,8 x 11,5 m². Struktur utama pada bangunan tersebut terdiri atas dinding eksterior pasangan batu *masonry* dengan *finishing* mortar, lantai kayu, dinding interior kayu model *tabique wall*, dan rangka atap. Lokasi, bentuk fasad, dan tampak eksterior bangunan dapat dilihat pada Gambar 128. Sementara itu gambar denah layout dinding dan layout rangka atap ditunjukkan pada Gambar 129. Rekap karakteristik konfigurasi elemen struktural bangunan selanjutnya ditabulasikan pada Tabel 17.

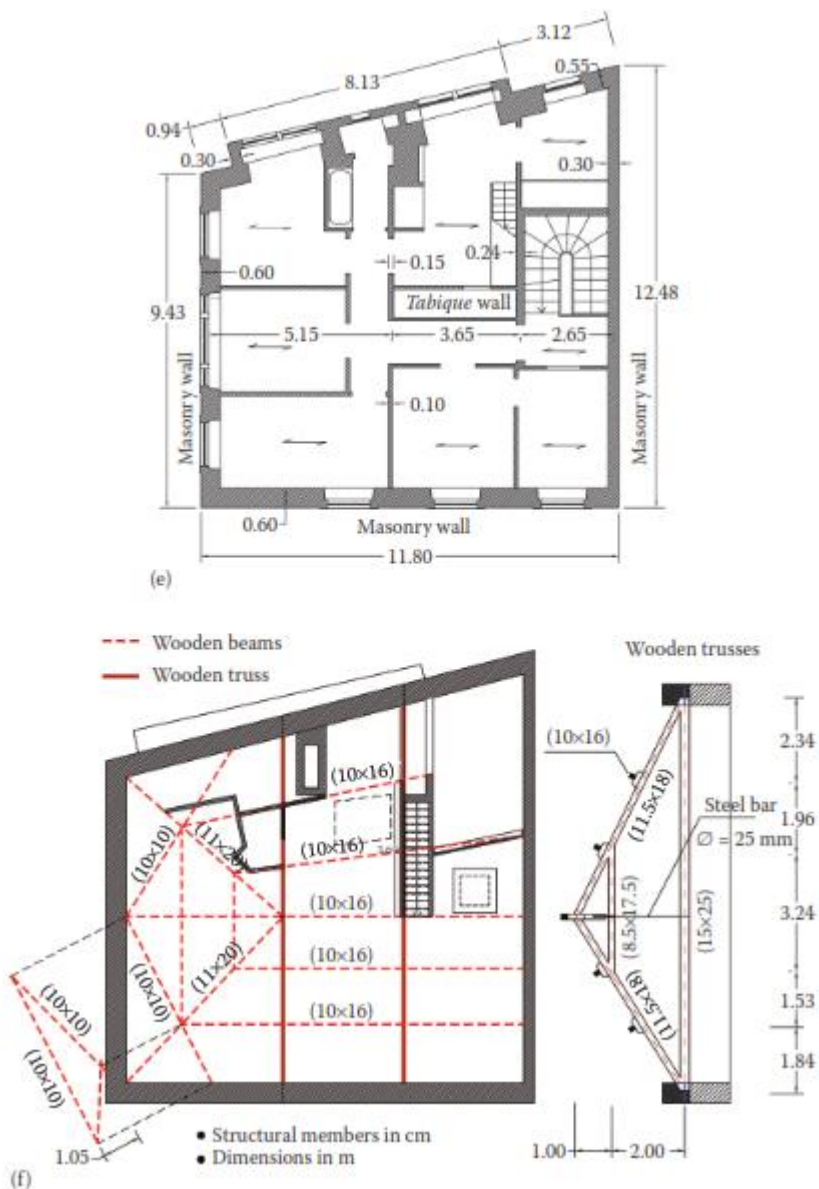
Pada tahun 2008, bangunan tersebut pernah mengalami pekerjaan konservasi dan restorasi pada elemen-elemen nonstruktural yang meliputi pembangunan ulang area-area yang telah mengalami kerusakan, dan juga terdapat penggantian sejumlah elemen-elemen kayu yang telah mengalami kerusakan. Namun demikian, dari hasil pengamatan visual terhadap elemen-elemen struktur, diketahui bahwa secara umum kondisi struktur eksisting masih dalam keadaan baik.



Gambar 128 Lokasi dan tampak eksterior bangunan studi kasus ke-2 (sumber : Silva, Velodu & Santos)

Tabel 17 Karakteristik elemen struktur bangunan studi kasus ke-2 (sumber : Silva, Velodu & Santos)

Karakteristik Elemen Struktur				
Elemen	Material	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Jarak (cm)
Dinding <i>masonry</i>	Batu kapur	40 - 60		-
<i>Tabique wall</i>	Kayu dan mortar	10 - 15	380	-
Lantai				
Balok kayu		7,5	16	50
Papan kayu		20	3	-
Rangka atap				
Bottom chord		15	25	-
Top chord		11,5	18	-
King post		11,5	18	-
Steel bar		2,5 (d)		
Collar tie		8,5	17,5	-
Gording		10	16	



Gambar 129 Denah layout dinding dan layout rangka atap (sumber : Silva, Velodu & Santos)

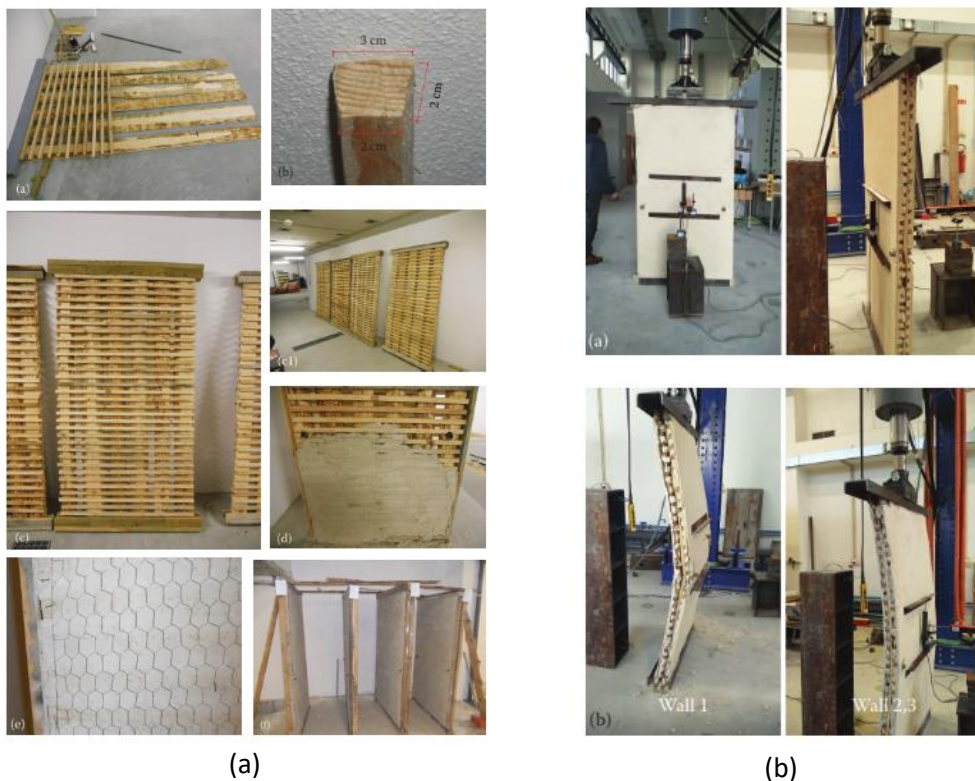
Pengujian Elemen Dinding Struktural

Sebagaimana telah dijelaskan dalam subbab-subbab sebelumnya dalam buku ini, bahwa untuk mengetahui karakteristik material ataupun subrakitan suatu komponen struktural (misal subrakitan komponen dinding struktural), dapat dilakukan pengujian baik in-situ maupun secara uji laboratorium (dengan sampel uji diambil langsung dari lapangan, atau dengan membuat replikasi dari segmen kajian jika pengambilan sampel riil tidak memungkinkan meski cara ini berpotensi menghasilkan keluaran yang kurang *reliable*).

Untuk kasus struktur dinding *masonry*, metode uji in-situ yang umum dilakukan adalah pengujian *flat-jack*. Hasil pengujian tersebut diantaranya adalah hubungan tegangan-tegangan serta Modulus Elastisitas. Salah satu pedoman atau standar yang menjelaskan metode pengujian in-situ ini adalah **ASTM D4729** untuk menguji Modulus deformasi, serta **ASTM C1196** untuk menguji tegangan tekan. Selain uji lapangan, pengujian laboratorium juga dapat dilakukan untuk mendapatkan properti mekanis lainnya seperti kuat tekan, kuat tarik, kuat geser pasangan bata (contoh Gambar 124).

Contoh pengujian laboratorium maupun in-situ untuk mengetahui properti mekanis material bata maupun komponen dinding pasangan (**untuk struktur masonry**) telah dijelaskan pada subbab sebelumnya (misal pada Gambar 116 dan Gambar 124). Selanjutnya dalam subbab ini akan diuraikan contoh pengujian laboratorium untuk investigasi properti mekanis dinding kayu *tabique wall*.

Dalam kasus ini, karena pengambilan sampel dinding riel dari lokasi bangunan tidak memungkinkan, maka benda uji dibuat melalui replikasi dari *tabique wall* asli yang berada di lapangan. Dokumentasi persiapan benda uji dapat dilihat pada Gambar 130(a). Pengujian yang dilakukan adalah uji tekan untuk mengetahui kekakuan aksial maupun lentur pada tiga benda uji *tabique wall*, dengan setup pengujian seperti ditunjukkan pada Gambar 130(b). Rekap hasil uji tekan *tabique wall* dapat dilihat pada Tabel 18.



Gambar 130 (a) Dokumentasi persiapan benda uji *tabique wall* (b) Setup pengujian tekan komponen *tabique wall* (sumber : Silva, Velodu & Santos)

Tabel 18 Rekap hasil uji tabique wall (sumber : Silva, Velodu & Santos)

Rekap Hasil Uji Tekan Tabique Wall						
Benda Uji	Beban maks , Pu (kN)	Displacement maks, d (mm)	Displacement aksial, u (mm)	Displacement <i>out-of-plane</i> (mm)	Kekakuan Aksial, EA (kN/m)	Kekakuan Lentur, EI (kN.m ² /m)
TW-1	65.9	16.801	0.055	3.21	259.825	11.4
TW-2	96.9	12.84	0.05	1.725	372.094	16.6
TW-3	76.1	12.07	0.05	1.94	287.547	13.2
Rata-rata	79.6				306.489	13.7

Sama halnya dengan *tabique wall*, pengujian segmen dinding *masonry* juga tidak memungkinkan karena tidak diizinkan oleh pemilik bangunan kecuali hanya untuk jumlah dan volume yang sangat terbatas. Oleh karena itu dilakukan pengujian pada replikasi segmen dinding dengan mengikuti material dan teknik pengerjaan yang sama seperti pada bangunan sebenarnya. Pengujian yang dilakukan diantaranya adalah uji tekan serta uji *flat-jack* untuk mengevaluasi kondisi tegangan pada dinding serta mendapatkan kekakuan aksial maupun tekuk dari dinding *masonry*. Rekap hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 19.

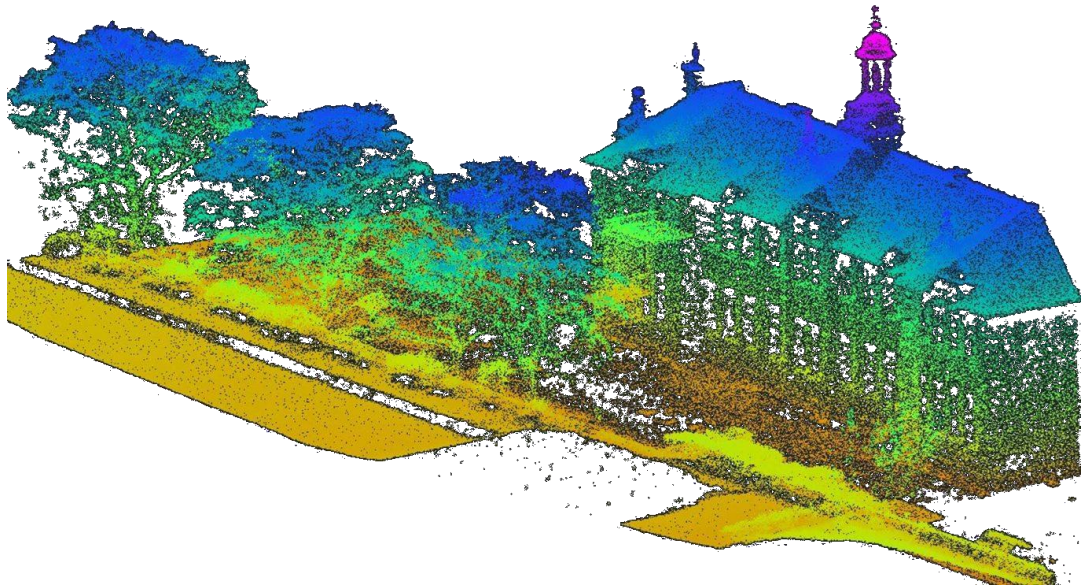
Tabel 19 Rekap hasil uji dinding masonry (sumber : Pinheiro)

Rekap Hasil Uji Dinding Masonry		
Jenis Uji	Tegangan Ultimit, σ_u (MPa)	Modulus Elastisitas, E (GPa)
Flat-jack (in situ)	0,70 - 1,00	0,35 - 1,20
Flat-jack (di laboratorium)	0,77 (rata-rata)	2,23 (rata-rata)
Uji tekan (di laboratorium)	0,99 (rata-rata)	0,36 (rata-rata)

Pemodelan dan Analisis Struktur

Model numerik struktur selanjutnya dapat disusun dengan menggunakan data-data primer maupun sekunder bangunan yang telah diperoleh yang sedikitnya meliputi data geometri bangunan, konfigurasi struktur, karakteristik material. Seiring perkembangan teknologi masa kini, seperti semakin canggihnya perangkat kamera pada *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) atau *drone*, kita dapat memanfaatkannya untuk melakukan 3D scanning misalnya dengan memanfaatkan teknologi fotogrametri. Bahkan saat ini dipasaran juga telah tersedia drone khusus yang dipasarkan untuk keperluan survei profesional sehingga dilengkapi dengan LiDAR. Contoh ilustrasi hasil survei geometri bangunan eksisting secara 3D scanning menggunakan drone dapat dilihat pada Gambar 131.

Pemodelan struktur dapat dilakukan dengan berbagai macam *software* analisis struktur seperti SAP2000, ETABS, atau *Robot Structural Analysis*. Dalam studi kasus ini, metode analisis struktur yang akan didemonstrasikan adalah metode elastik linier, mengingat kurang atau belum adanya data mengenai perilaku nonlinear elemen ataupun material yang digunakan pada bangunan.



Gambar 131 Contoh alternatif survei geometri bangunan eksisting dengan memanfaatkan fotogrametri drone (sumber : cadsonline.com)

Tabel 20 Properti mekanis material yang diinputkan pada model numerik struktur

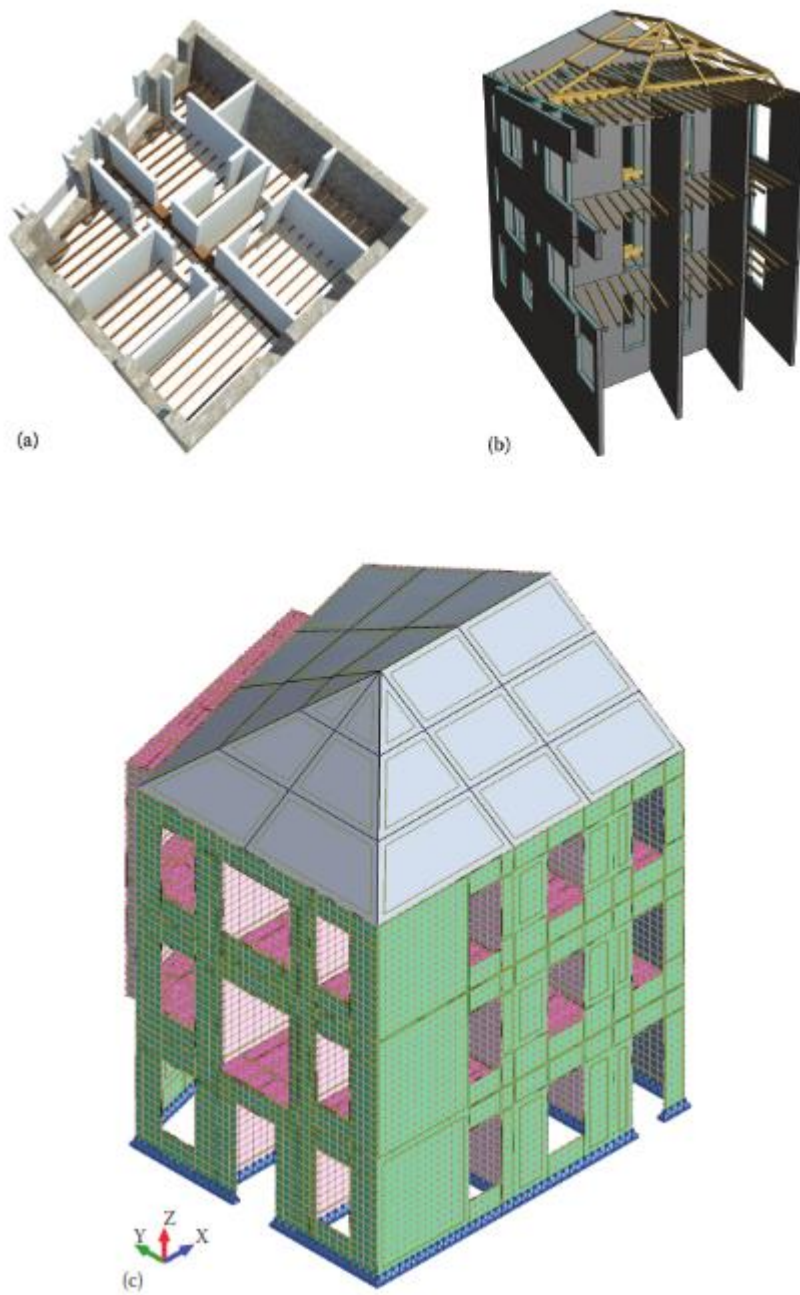
Properti Mekanis Material pada Model Numerik Struktur				
Elemen	Material	Modulus Elastisitas, E (GPa)	Poisson Ratio	Berat Spesifik (kN/m ³)
Dinding <i>masonry</i>	Batu kapur	1,5	0,26	22,6
Tabique wall	Kayu dan mortar	9,0	-	15,5
Elemen kayu		9,0	-	6,0

Model tiga dimensi dari struktur bangunan yang dikaji dapat dilihat pada Gambar 132(a) dan (b). Selanjutnya model numerik struktur dibangun dengan menggunakan elemen *shell* untuk memodelkan elemen dinding; kombinasi elemen garis (*beam element*) dan *shell* untuk komponen lantai; dan *beam element* untuk rangka atap, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 132(b). Properti mekanis material yang diinputkan dalam program dapat dilihat pada Tabel 20. Keluaran yang akan ditinjau diantaranya adalah distribusi tegangan maupun deformasi pada struktur dinding. Dari kontur distribusi tegangan yang dihasilkan kita juga akan mengetahui lokasi terjadinya konsentrasi tegangan.

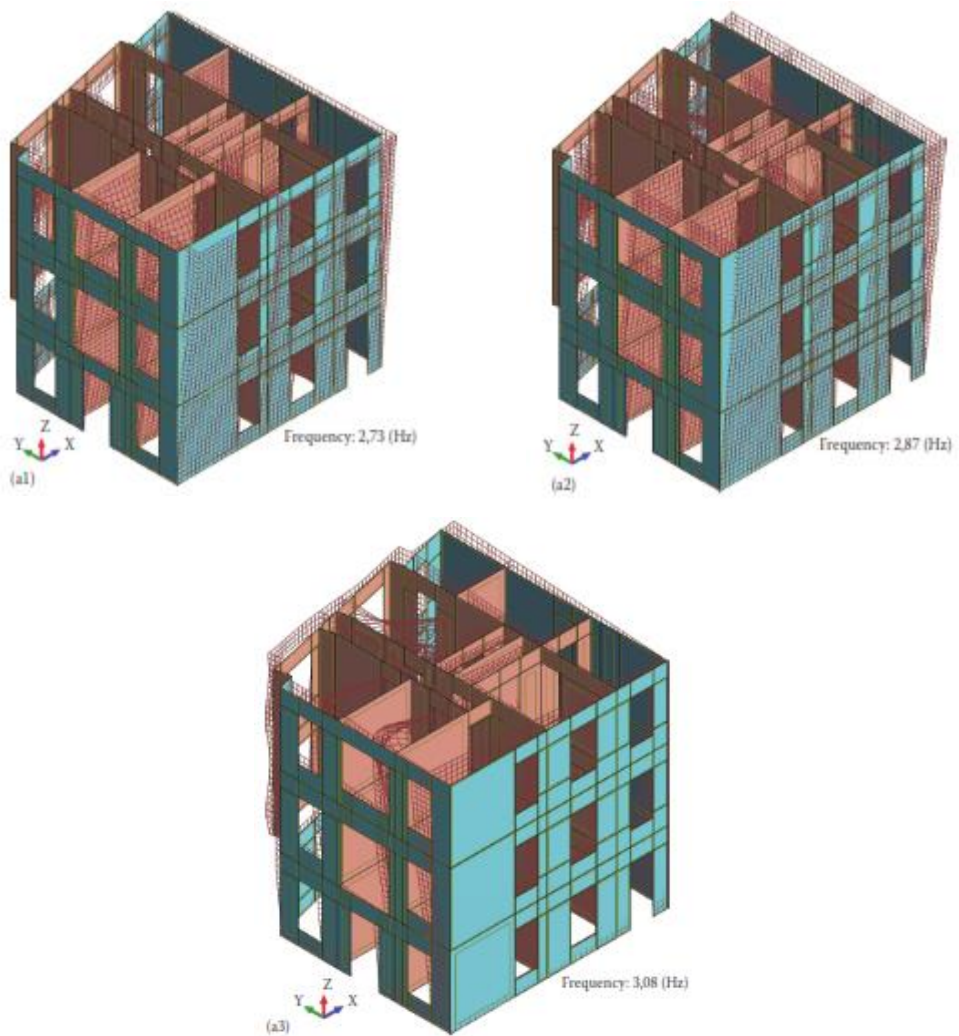
Hasil *running analysis* yang pertama ditinjau adalah perilaku dinamik struktur yang ditunjukkan melalui hasil analisis ragam getar (*modal analysis*). Hasil rekap analisis untuk sembilan ragam getar pertama dapat dilihat pada Tabel 21. Meski sebenarnya terdapat 150 ragam yang dianalisis, namun karena terdapat banyak ragam getar yang serupa satu sama lain maka yang ditampilkan disini adalah ragam getar yang relevan saja. Bentuk tiga ragam getar pertama relevan yang terjadi pada bangunan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 133, yang secara berturut-turut mewakili bentuk ragam getar arah YY, XX, lalu kembali ke arah YY. Ini menunjukkan bahwa perilaku dinamik struktur bangunan eksisting sudah cukup baik karena rendahnya pengaruh torsi pada bangunan.

Selanjutnya analisis tegangan harus dilakukan untuk berbagai *load case* dan *load combination* sesuai standar teknis yang berlaku (dalam hal ini praktek di Indonesia dapat mengacu pada SNI 1727:2020). Komponen tegangan yang dapat ditinjau pada elemen *shell* diantaranya adalah tegangan utama (*principal stress*), meski pada beberapa kasus dapat juga ditinjau dari resultan tegangan von mises untuk dibandingkan terhadap kriteria kelelahan. Pada contoh kasus ini, ditunjukkan contoh keluaran tegangan utama pada komponen dinding *masonry* melalui Gambar 134. Sementara itu tampak distribusi tegangan pada komponen *tabique wall* dapat dilihat pada Gambar 135. Hasil analisis tegangan utama pada kasus ini menunjukkan nilai tegangan tekan maksimum sebesar 0,22 MPa dan tegangan tarik sebesar 0,17 Mpa; yang tidak diikuti oleh adanya indikasi retakan (disamping itu nilai tegangan maksimum tersebut masih lebih rendah dari kuat tekan nominal dinding bata sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 19). Berdasarkan kontur tegangan juga kita dapat mengetahui bahwa lokasi tegangan maksimum terletak pada daerah dekat sambungan (*joint*) dan variasi penampang. Dengan melakukan peningkatan pada metode *meshing* elemen model struktur, dapat meningkatkan keakuratan hasil analisis. Sementara itu nilai perpindahan maksimum (atau *story drift*) struktur secara global dapat dilihat pada Gambar 136, yang selanjutnya nilai tersebut dapat dibandingkan dengan batasan *drift* maksimum yang diizinkan sesuai standar teknis (SNI) yang berlaku. Begitupula nilai lendutan yang terjadi pada pelat lantai kayu, dapat diketahui berdasarkan kontur deformasi yang dicontohkan pada Gambar 137 untuk selanjutnya dapat dievaluasi *conformitinya* sesuai batasan dalam SNI.

Secara umum, langkah-langkah ini merupakan tinjauan-tinjauan yang diperlukan untuk mengamati respons dan perilaku struktur akibat aksi beban yang bekerja. Namun demikian, tentunya masih banyak tingkatan analisis yang lebih *advanced* yang dapat dilakukan untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih akurat, misalnya menggunakan analisis nonlinear inelastis. Namun demikian, untuk dapat melaksanakan analisis tersebut, selain diperlukan data dan pengujian yang lengkap dan komprehensif, juga diperlukan keahlian khusus dalam hal metode analisis numerik, penggunaan *software* yang sudah ada, bahkan kemampuan pemrograman komputer; agar menghasilkan model struktur yang akurat dan *reliable*.



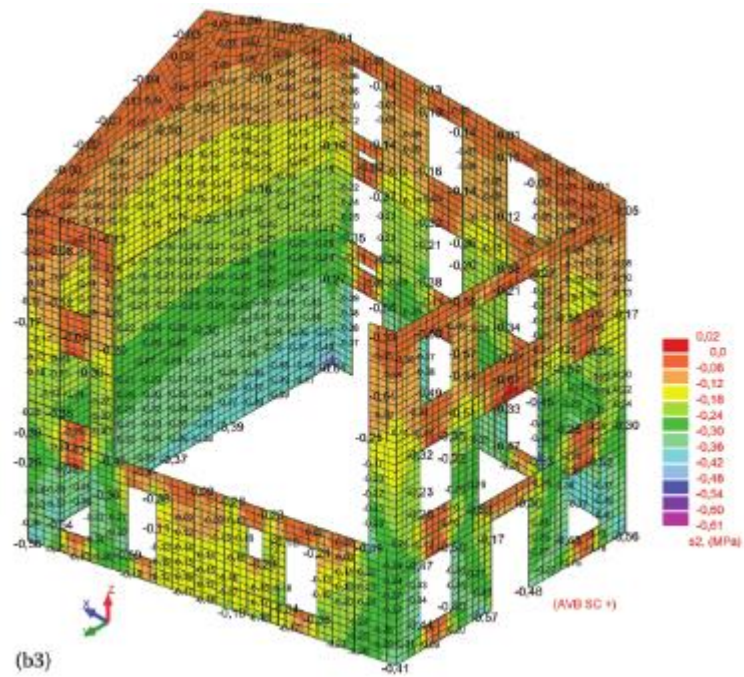
Gambar 132 Model 3D dan numerik struktur bangunan (sumber : Silva, Velodu & Santos)



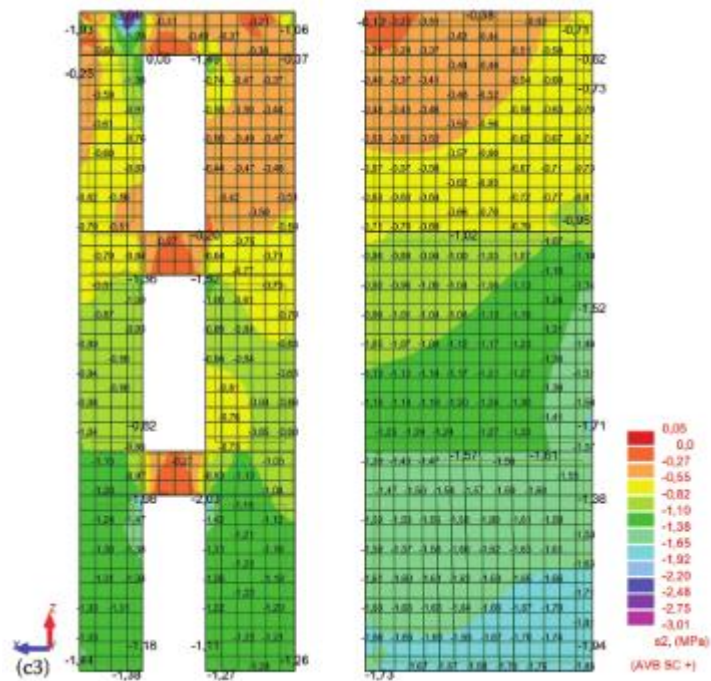
Gambar 133 Hasil analisis ragam getar dan frekuensi natural struktur (sumber : Silva, Velodu & Santos)

Tabel 21 Rekap hasil modal analysis struktur (sumber : Silva, Velodu & Santos)

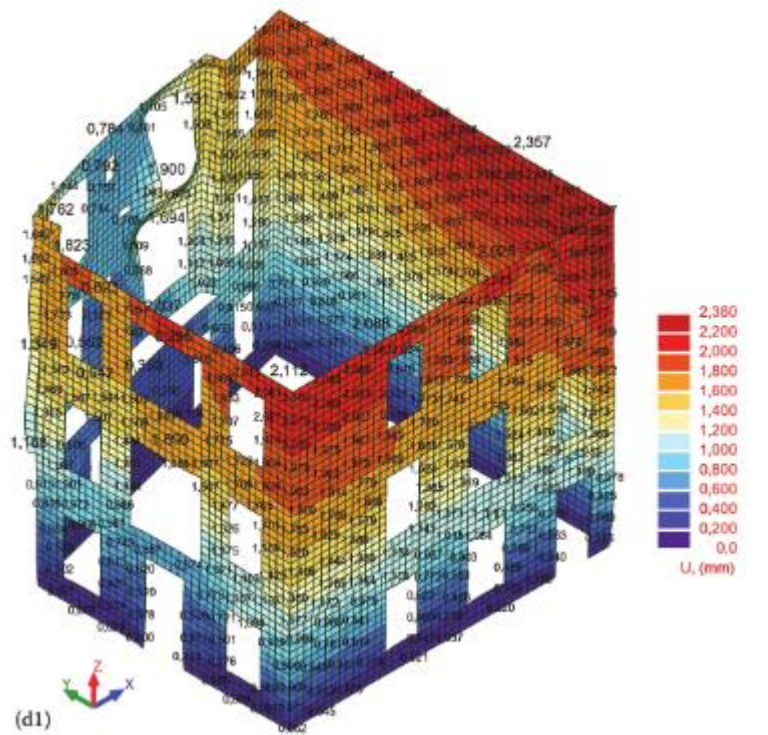
Mode	Frequency (Hz)	Period (s)	Rel.mas.UX (%)	Rel.mas.UY (%)	Rel.mas.UZ (%)
1	2.64	0.38	0.02	0.24	0.00
2	2.65	0.38	0.25	0.26	0.00
3	2.73	0.37	6.81	14.78	0.00
4	2.75	0.36	6.86	14.90	0.00
5	2.87	0.35	53.85	18.17	0.02
6	2.99	0.33	53.85	18.18	0.02
7	3.08	0.32	60.49	50.50	0.03
8	3.26	0.31	60.59	50.64	0.03
9	3.31	0.30	60.59	50.64	0.03



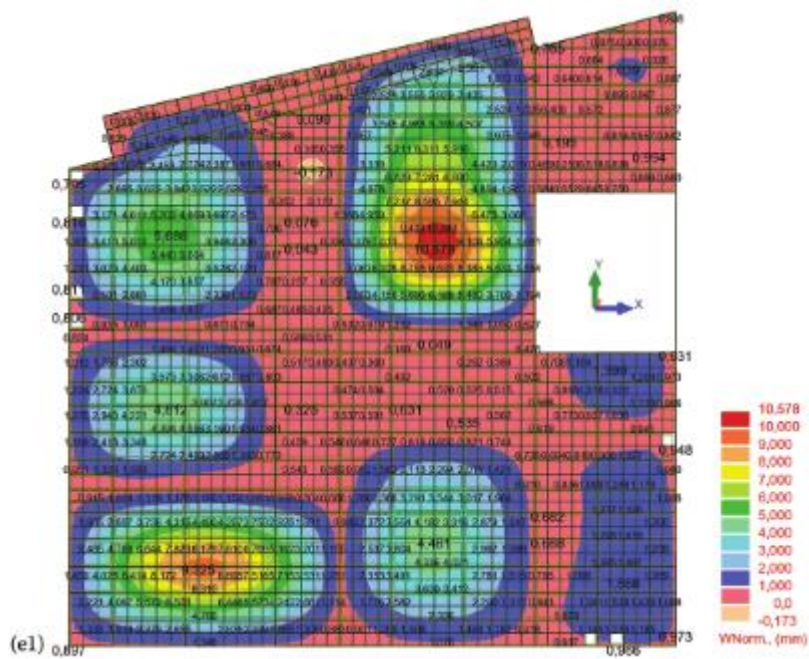
Gambar 134 Tegangan utama pada dinding masonry



Gambar 135 Tegangan utama pada tabique wall (sumber : Silva, Velodu & Santos)



Gambar 136 Perpindahan global bangunan akibat beban seismik (sumber : Silva, Velodu & Santos)



Gambar 137 Kontur deformasi pada pelat lantai (sumber : Silva, Velodu & Santos)

Refleksi Materi

Tidak seperti bangunan modern yang kita jumpai di masa kini, kebanyakan bangunan cagar budaya (bangunan tua) dibangun dengan sistem struktur *masonry* dan kayu. Sementara itu standar teknis perancangan struktur (SNI) yang ada saat ini sebagian besar hanya tersedia untuk sistem struktur modern seperti beton bertulang atau struktur baja. Selain itu, teknik dalam analisis dan pemodelan struktur *masonry* itu sendiri selain belum dibakukan dalam suatu dokumen standar (*codes*), juga masih terus diteliti untuk menemukan metode yang paling *reliable* namun tetap efisien dalam penggunaan *resources hardware* komputer yang diperlukan. Hal ini menjadi sebuah tantangan sekaligus kesempatan bagi praktisi maupun peneliti dalam mengembangkan metodologi analisis struktur yang akurat dan efisien untuk dapat menggambarkan perilaku struktur bangunan secara valid.

Bab ini disusun dengan maksud memberikan pengenalan dan wawasan bagi para pembaca mengenai **prinsip dasar** metodologi analisis struktur bangunan eksisting khususnya bangunan cagar budaya. Di dalamnya, kita sudah melihat bahwa tahapan analisis struktur harus diawali oleh survei awal bangunan gedung untuk memperoleh data geometris dan konfigurasi struktur maupun karakteristik material yang digunakan. Properti mekanis material dan subrakitan sistem struktur yang ada umumnya hanya dapat diketahui melalui pengujian baik in-situ maupun laboratorium. Beberapa teknik pengujian tersebut, dan juga alternatif pengujian nondestruktif yang dapat dilakukan untuk melengkali data-data agar lebih komprehensif juga telah diperkenalkan dalam bab ini secara ringkas.

Selanjutnya dalam bab ini juga sudah diperkenalkan prinsip dasar dalam pemodelan struktur bangunan cagar budaya yang umumnya dibangun dengan sistem struktur *masonry* dan kayu. Meski di luar sana terdapat banyak alternatif pendekatan yang dapat dilakukan untuk memodelkan bangunan *masonry*, namun di bab ini hanya diperkenalkan dua pendekatan yang paling umum dilakukan yaitu teknik pemodelan makro dan pemodelan mikro, dimana masing-masing metode punya kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Seringkali untuk memperoleh model numerik yang akurat dan valid, selain diperlukan input data properti mekanis yang akurat, juga perlu dilakukan verifikasi model baik dengan pengujian laboratorium maupun in-situ. Dengan dibuatnya model analisis struktur secara numerik, maka dapat dievaluasi respons dan perilaku struktur akibat aksi beban luar untuk kemudian dibandingkan dengan nilai batas maksimum yang dapat diterima oleh material maupun komponen struktur.

Dalam bab ini diberikan dua contoh kasus analisis bangunan cagar budaya eksisting agar pembaca dapat melihat gambaran konkret mengenai konsep dasar yang telah dijelaskan sebelumnya. Pada studi kasus tersebut pembaca dapat melihat contoh-contoh pengujian yang dilakukan baik pengujian in-situ maupun laboratorium, teknik pemodelan struktur yang dilakukan, serta bagaimana menganalisis dan menginterpretasikannya. Selain tu prinsip analisis seismik bangunan eksisting sesuai ASCE 41-17 juga telah diperkenalkan secara singkat.

Daftar Pustaka

- Allen, Edward., (2005), **How Buildings Work, The Natural Order of Architecture**, Third Edition, Oxford University Press.
- ASCE/SEI 41-17. (2017). **Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings**, American Society of Civil, Engineers, Reston, VA.
- ASTM C1531-16. (2016). **Standard Test Methods for In Situ Measurement of Masonry Mortar Joint Shear Strength Indeks**, ASTM International, United States.
- ASTM C1196-20. (2020). **Standard Test Method for In Situ Compressive Stress Within Solid Unit Masonry Estimated Using Flatjack Measurements**, ASTM International, United States.
- ASTM C4729-19. (2019). **Standard Test Method for In Situ Stress and Modulus of Deformation Using the Flat Jack Method**, ASTM International, United States.
- Balai Bahan dan Struktur Bangunan Gedung. (2021). **Laporan Hasil Pengujian Geser Bata In Situ Gedung A.A. Maramis Kementerian Keuangan**, Balai Bahan dan Struktur Bangunan Gedung, Direktorat Bina Teknik Permukiman dan Perumahan.
- Chácará Espinoza, César & Mendes, Nuno & Lourenco, Paulo. (2015). **NUMERICAL ASSESSMENT OF THE OUT-OF-PLANE RESPONSE OF A BRICK MASONRY STRUCTURE WITHOUT BOX BEHAVIOUR**. Congresso de Métodos Numéricos em Engenharia 2015 , APMTAC, Portugal, 2015.
- D’Altri, A.M., Sarhosis, V., Milani, G. *et al.* **Modeling Strategies for the Computational Analysis of Unreinforced Masonry Structures: Review and Classification**. *Arch Computat Methods Eng* **27**, 1153–1185 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11831-019-09351-x>
- Doran, B., Karslioglu, M., Unsal Aslan, Z., & Vatansever, C. (2022). **Experimental and Numerical Investigation of Unreinforced Masonry Walls with and without Opening**. *International Journal of Architectural Heritage*, 17(11), 1833–1854. <https://doi.org/10.1080/15583058.2022.2080611>
- Goncalves, Rodrigues, and Gaspar. (2018). **Nondestructive Techniques for the Assessment and Preservation of Historic Structures**, Boca Raton, Florida.
- Harris, Samuel Y., (2001), **Building Pathology, Deterioration, Diagnostics, and Intervention**, John Wiley & Sons, Inc.
- ICOMOS 2003. **Recommendations for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage**. ISCARSAH, International Council on Monuments and Sites.

- Sabaruddin, Arief, et.al, (2012), **Patologi Bangunan Gedung Cagar Budaya AA Maramis**, Pusat Litbang Permukiman Kementerian Pekerjaan Umum, Biro Umum Kementerian Keuangan.
- Merla, A., L. Di Donato, G. Martino, M. L. Rainone, and P. Signanini. (2009). **An application Of digital infrared thermography on historical cultural heritage damaged in the L'Aquila earthquake**. In Proceedings Of 4th Internasional Congress On Science And Technology For the Safeguard Of Cultural Heritage In the Mediterranean Basin , Cairo, Egypt.
- Moradi, N., Yazdani, M., Janbozorgi, F. *et al.* **In-plane seismic performance of historical masonry walls with various brick bond patterns using micro-modeling approach**. *Asian J Civ Eng* **25**, 4863–4876 (2024). <https://doi.org/10.1007/s42107-024-01085-x>
- Ranalli, D., M. Scozzafava, and M. Tallini. (2004). **Ground penetrating radar investigations for the restoration of historic buildings: The case study of the Collemaggio Basilica (L' Aquila, Italy)**. *Journal of Cultural Heritage* **5**: 91– 99.
- Santos, S. P. (2003). **Structural rehabilitation of historic buildings**. 40th Meeting of Commission, CIB W023 . Padova, Italy.
- Silvam Veludo, and Santos. (2018). **3D Structural Analysis to Support the Rehabilitation of Old Masonry Buildings, in Nondestructive Techniques for the Assessment and Preservation of Historic Structures**, Boca Raton, Florida.
- Peraturan Menteri PUPR Nomor 19 Tahun 2021. (2021). **Pedoman Teknis Penyelenggaraan Bangunan Gedung Cagar Budaya yang Dilestarikan**. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Indonesia.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2021. (2021). **Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung**. Presiden Republik Indonesia, Indonesia.
- SNI 1726:2019. (2019). **Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung**, Badan Standarisasi Nasional, Indonesia.
- SNI 1727:2020. (2020). **Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain**, Badan Standarisasi Nasional, Indonesia.
- SNI 2847:2019. (2019). **Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan**, Badan Standarisasi Nasional, Indonesia.
- Wijantom S., Andriono, T., Setiawan, D., Tanudjaja, J. (2024). **Seismic Performance Enhancement of a 200 Years Old Unreinforced Masonry Heritage Building in Jakarta, in 18th World Conference of Earthquake Engineering 2024**, Milan, Italy.



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM
DAN PERUMAHAN RAKYAT**

**Biro Komunikasi Publik
Sekretariat Jenderal**

Jl. Pattimura No. 20 , Kebayoran Baru,
Jakarta Selatan 12110
Telp. (021) 158
informasi@pu.go.id

ISBN 978-979-8230-81-3

