

ASESMEN KELAIKAN FUNGSI STRUKTUR GEDUNG MASJID AL FALAH ARENG-ARENG JUNREJO BATU

Suhariyanto^{1,*}, Nabila Ayu Sabrina², Kartika Purwitasari³, Fauziah Shanti CSM⁴, Taufiq Rochman⁵, Bobby Asukmajaya⁶

Jurusan Teknik Sipil Polinema¹, Jurusan Sipil Polinema², Jurusan Sipil Polinema³, Jurusan Sipil Polinema³

Koresponden*, Email: suhariyanto.polinema@gmail.com,

ABSTRAK

Asesmen kelayakan fungsi struktur Gedung Masjid Al Falah Areng-areng Junrejo Batu bertujuan untuk mengevaluasi kondisi struktural bangunan yang mengalami kerusakan pada beberapa elemen, terutama di sekitar kubah, yang berpotensi mengancam keselamatan dan kenyamanan jamaah.

Proses asesmen melibatkan pemeriksaan teknis yang dilakukan oleh ahli forensik dan ahli struktural untuk menilai tingkat kerusakan dan penyebabnya, serta merancang solusi perbaikan yang sesuai. Selain itu, asesmen ini juga mempertimbangkan kelayakan teknis, ekonomi, sosial, dan hukum terkait pelaksanaan perbaikan.

Berdasarkan assessment yang dilakukan dapat disampaikan hal-hal sebagai berikut kubah seharusnya menumpu pada balok ring kubah, tetapi yang terbangun kubah menumpu pada balok dan pelat di luar balok ring kubah, ditemukan beberapa defect/failure pada balok dan plat atap di sekitar kubah, getaran terjadi pada sebagian lantai 2 ketika dibebani orang yang meloncat, ditemukan beberapa defect/failure pada balok dan plat atap di sekitar kubah, getaran terjadi pada sebagai lantai 2 ketika dibebani orang yang meloncat. Gedung terasa bergetar jika terdapat truck yang melalui jalan di depan masjid. Hasil loading test: pada beban 0 sampai dengan sekitar 150 kg/m² maka balok ring, pelat dan balok berada pada Daerah I (daerah Elastis), pada beban sekitar 150 kg/m² sampai 350 kg/m² maka balok ring, pelat dan balok berada pada Daerah II (daerah Retak), setelah beban 350 kg/m² maka balok ring, pelat dan balok atap masuk pada Daerah III (daerah baja leleh atau beton pecah), lendutan tetap terjadi ketika dilakukan unloading sampai dengan beban uji 0. Tindak lanjut selanjutnya adalah melakukan analisis dan penyusunan rencana perbaikan atau perkuatan struktur yang mengalami defect.

Kata Kunci: Asesmen kelayakan, fungsi struktur, masjid

ABSTRACT

The structural integrity assessment of the Al Falah Mosque building in Areng-areng, Junrejo, Batu, aims to evaluate the condition of the structure, particularly the damage observed around the dome, which poses potential risks to the safety and comfort of the congregation. The assessment process involved technical inspections conducted by forensic and structural experts to determine the extent and causes of the damage, as well as to design appropriate repair solutions.

The assessment also considered technical, economic, social, and legal feasibility for implementing the repairs. Key findings include that the dome, intended to rest on the ring beam, is instead supported by the beam and slab outside the ring beam. Several defects/failures were identified in the beams and roof slabs around the dome, with vibrations observed on parts of the second floor when subjected to dynamic loads, such as jumping. The building also experiences vibrations when trucks pass on the adjacent road.

Loading test results indicate that at loads from 0 to approximately 150 kg/m², the ring beam, slab, and beams remain in Region I (elastic region); from approximately 150 kg/m² to 350 kg/m², they enter Region II (cracking region); and beyond 350 kg/m², they reach Region III (steel yielding or concrete failure). Permanent deflection was observed during unloading until the test load reached zero. The next steps involve analyzing the findings and developing a plan for repairing or strengthening the affected structural elements.

Keywords: Feasibility assessment, structural function, mosque

1. PENDAHULUAN

Masjid Al Falah Areng-areng Kota Batu merupakan masjid yang megah, bersih, dan nyaman, serta sangat representatif untuk berbagai kegiatan keagamaan. Terletak di lokasi strategis dekat dengan jalan utama Kota Malang, universitas besar, sekolah, dan pemukiman, masjid ini mudah dijangkau namun tetap memberikan suasana yang khushyuk untuk beribadah.

Selain digunakan untuk ibadah, masjid ini juga aktif mengadakan majelis-majelis sholawat, dzikir, ta'lim, dan pendidikan agama untuk anak-anak pada pagi hari. Keberadaannya juga didukung oleh berbagai fasilitas di sekitarnya seperti MTSN, MAN, KUA, dan puskesmas.

Masjid ini juga menjadi tempat yang penuh saat sholat Ied di hari raya, dengan jamaah yang membludak hingga memenuhi lapangan. Masjid Al Falah Areng-areng memang merupakan tempat yang nyaman dan tepat untuk beribadah dan kegiatan keagamaan lainnya.



Gambar 1 Peta Lokasi Mitra PPM



Gambar 1 Tampak Depan Masjid Al Falah

Permasalahan yang dihadapi oleh takmir masjid adalah adanya retak pada beberapa elemen struktur di sekitar kubah masjid yang dikhawatirkan akan berisiko terhadap keselamatan dan kenyamanan jamaah masjid.

2. METODE

Metode yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pemeriksaan dan Analisis Teknis

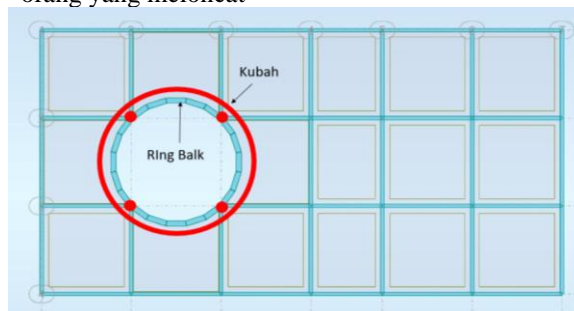
Melakukan inspeksi menyeluruh terhadap elemen struktur bangunan, terutama pada area yang menunjukkan kerusakan, seperti retakan di sekitar kubah.

2. Menggunakan metode uji forensik bangunan untuk menentukan penyebab utama kerusakan, seperti faktor lingkungan, kelebihan beban, atau kesalahan konstruksi.
3. Perancangan Solusi Perbaikan
Menyusun rencana perbaikan berdasarkan hasil inspeksi, seperti penguatan struktur dengan material modern, penggantian elemen yang rusak, atau metode perbaikan khusus lainnya.

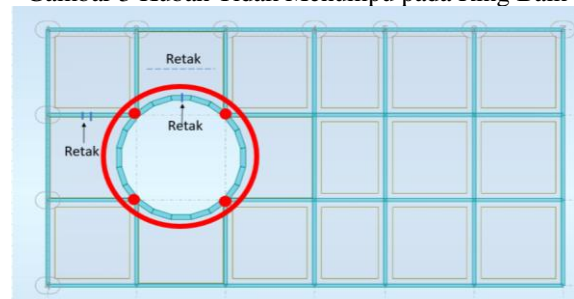
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengamatan visual yang dilakukan dapat disampaikan hal-hal sebagai berikut:

- a) Kubah seharusnya menumpu pada balok ring kubah, tetapi yang terbangun kubah menumpu pada pada balok dan pelat di luar balok ring kubah.
- b) Ditemukan beberapa defect/failure pada balok dan plat atap di sekitar kubah
- c) Getaran terjadi pada sebagian lantai 2 ketika dibebani orang yang meloncat



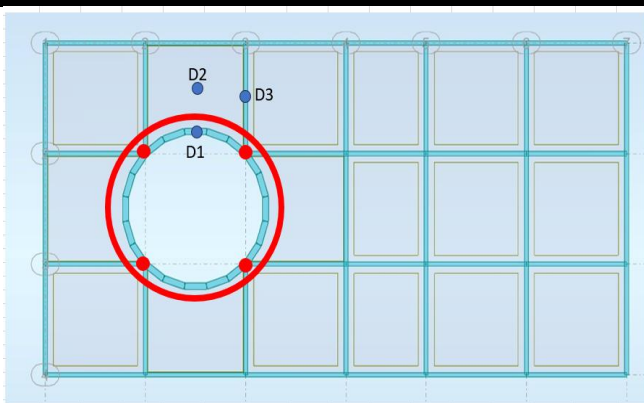
Gambar 3 Kubah Tidak Menumpu pada Ring Balk



Gambar 4 Lokasi Retak pada Atap

Disampaikan juga info oleh takmir bahwa gedung terasa bergetar jika terdapat truck yang melalui jalan di depan masjid.

Untuk mengetahui apakah bagian struktur (yang diuji) masih kuat menahan beban kerja (working load) yang membebaninya atau tidak maka dilakukan Static Loading Test.



Gambar 5 Lokasi Dial Gauge Loading Test



Gambar 6 Kolam Air Static Loading Test

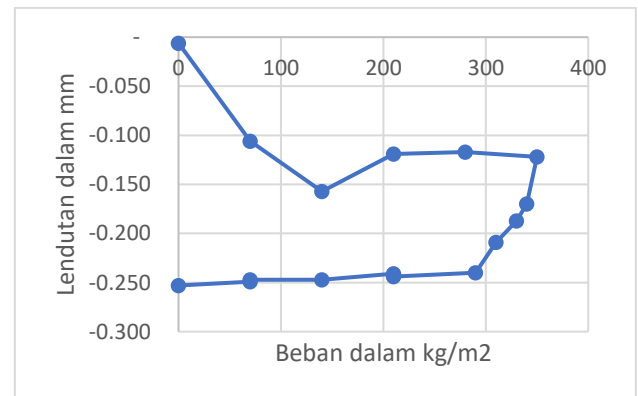


Gambar 7 Penempatan Dial Gauge Pengukur Lendutan

Hasil static loading test adalah sebagaimana Tabl 1 sebagai berikut:

Tabel 1 Hasil Static Loading Test

		Beban U (kg/m ²)	Tinggi Air cm	Lendutan Terukur			Keterangan
				D1 Ring Balk	D2 Pelat	D3 Balok	
		350	35				
		Bentang (Lt) dalam mm		5.000	5.000	4.500	
		Tebal (h) dalam mm		400	120	400	
		Lendutan maksimum (mm)		3,125	10,417	2,531	
		Lendutan maksimum permanen (mm)		0,781	2,604	0,633	
Loading	12-10:00	0%	0	0,006	0,005	0,004	
		20%	70	0,106	0,006	0,005	
		40%	140	0,157	0,009	0,009	
		60%	210	0,119	0,128	0,130	
		80%	280	0,117	0,142	0,142	
	13-50:00	100%	350	0,122	0,154	0,141	
Unloading	14-25:00	97%	340	0,170	0,039	0,037	
		94%	330	0,187	0,109	0,010	
		89%	310	0,209	0,306	0,003	
	16-15:00	83%	290	0,240	0,450	0,070	
		60%	210	0,244	0,489	0,090	
	16-29:00	60%	210	0,243	0,499	0,095	
		60%	210	0,241	0,505	0,101	
	16-48:00	40%	140	0,247	0,550	0,125	
		20%	70	0,247	0,610	0,156	
		20%	70	0,249	0,619	0,161	
	17-19:00	0%	0	0,253	0,696	0,182	
	17-23:00	0%	0	0,261	0,719	0,188	
		0%	0	0,253	0,732	0,195	
	19-58:00	0%	0	0,270	0,780	0,228	
	05-30:00	0%	0	0,346	0,899	0,288	
	09-15:00	0%	0	0,378	0,912	0,295	



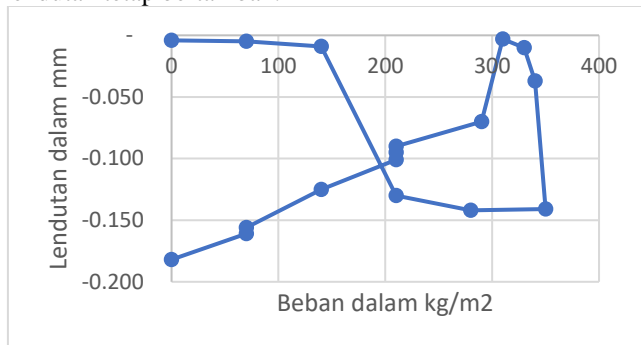
Gambar 8 Hubungan Beban dan Lendutan pada D1 (Ring Balk)

Pada Gambar 8 terlihat bahwa pada beban 350 kg/m² maka lendutan bertambah bahkan pada saat unloading lendutan tetap bertambah.



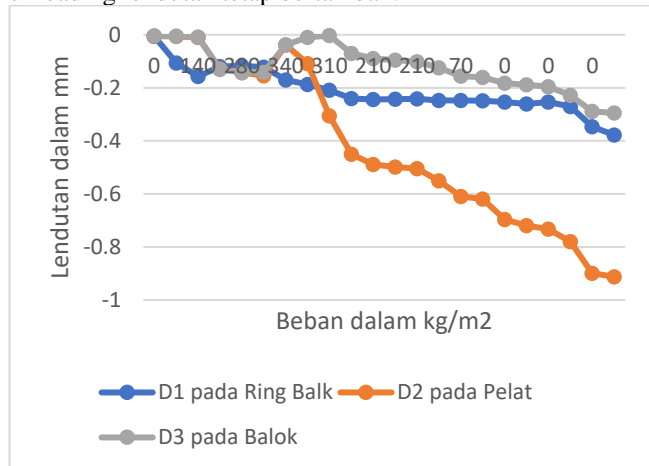
Gambar 9 Hubungan Beban dan Lendutan pada D2 (Pelat)

Pada Gambar 9 terlihat bahwa pada beban 350 kg/m² maka lendutan bertambah bahkan pada saat unloading lendutan tetap bertambah.



Gambar 10 Hubungan Beban dan Lendutan pada D3 (Balok)

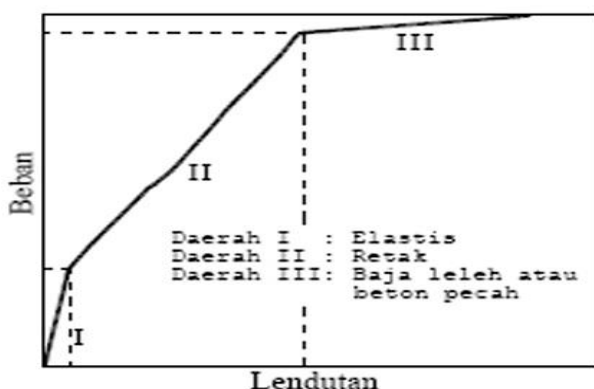
Pada Gambar 10 terlihat bahwa setelah beban 350 kg/m² tercapai maka lendutan bertambah bahkan pada saat unloading lendutan tetap bertambah.



Gambar 11 Beban dan Lendutan pada D1, D2 dan D3

Berdasarkan Gambar 11 terlihat bahwa lendutan yang terjadi pada D2 (pelat) lebih besar dibandingkan yang terjadi pada D1 (balok ring) dan D3 (balok).

Secara teori hubungan beban dan lendutan pada struktur beton bertulang adalah sebagai berikut:



Gambar 12 Hubungan Beban dan lendutan

Mengacu pada Gambar 12 tersebut maka dapat diketahui bahwa:

- Pada beban 0 sampai dengan sekitar 150 kg/m² maka balok ring, pelat dan balok berada pada Daerah I (daerah Elastis)
- Pada beban sekitar 150 kg/m² sampai 350 kg/m² maka balok ring, pelat dan balok berada pada Daerah II (daerah Retak)
- Setelah beban 350 kg/m² maka balok ring, pelat dan balok atap masuk pada Daerah III (daerah baja leleh atau beton pecah)

Berdasarkan hasil assessment yang dilakukan, berikut adalah analisis terhadap masalah-masalah yang teridentifikasi. Analisis ini difokuskan pada penyebab potensial, dampak, dan implikasi struktural, dengan mempertimbangkan prinsip-prinsip rekayasa sipil seperti distribusi beban, kekakuan struktur, dan perilaku material (beton dan baja). Saya mengasumsikan bangunan ini adalah masjid dengan kubah, yang melibatkan elemen struktural seperti balok ring, pelat atap, balok pendukung, dan lantai.

1. Penumpuan Kubah yang Tidak Sesuai

- Penyebab potensial: kesalahan desain atau pelaksanaan konstruksi, di mana kubah tidak ditempatkan langsung pada balok ring kubah yang dirancang untuk menahan beban vertikal dan lateral kubah. Sebaliknya, beban kubah tersebar ke balok dan pelat luar, menyebabkan distribusi beban tidak merata.
- Dampak: meningkatkan tegangan geser dan momen lentur pada balok dan pelat luar, yang dapat mempercepat kerusakan seperti retak atau deformasi. Ini juga berkontribusi pada defect/failure pada balok dan plat atap.
- Implikasi: struktur menjadi rentan terhadap beban dinamis (misalnya, angin atau gempa), dan dapat mengurangi umur pakai keseluruhan bangunan.

2. Defect/Failure pada Balok dan Plat Atap Sekitar Kubah

- Penyebab potensial: overloading akibat penumpuan kubah yang salah, korosi tulangan, kualitas beton rendah, atau kesalahan pengecoran. Defect bisa berupa retak, spalling (pengelupasan beton), atau korosi baja tulangan.
- Dampak: mengurangi kapasitas dukung elemen struktural, meningkatkan risiko kegagalan lokal. Ini selaras dengan hasil loading test, di mana retak muncul pada beban 150-350 kg/m².
- Implikasi: jika tidak diatasi, dapat menyebabkan kegagalan progresif (collapse) pada area kubah, terutama di bawah beban hidup atau mati tambahan.

3. Getaran pada sebagian lantai 2 saat dibebani orang Meloncat

- Penyebab potensial: kekakuan lantai rendah (stiffness deficiency), mungkin karena span balok terlalu panjang, tebal pelat tidak cukup, atau sambungan tidak kaku. Beban dinamis dari loncatan

manusia (impact load) memperbesar amplitudo getaran.

- Dampak: menyebabkan ketidaknyamanan pengguna dan potensi kerusakan jangka panjang pada sambungan atau finishing. Ini menunjukkan frekuensi natural struktur mendekati frekuensi beban manusia (sekitar 2-3 Hz).
- Implikasi: risiko kelelahan material (fatigue) pada lantai, dan jika getaran berlanjut, bisa mempengaruhi stabilitas keseluruhan.

4. Getaran gedung saat truck lewat di depan masjid

- Penyebab potensial: transmisi getaran dari tanah (ground-borne vibration) akibat lalu lintas berat, dikombinasikan dengan fondasi yang tidak cukup kaku atau tanpa isolator getaran. Struktur mungkin memiliki frekuensi resonansi yang rendah.
- Dampak: getaran kronis dapat mempercepat kerusakan pada elemen non-struktural (seperti dinding atau plafon) dan memperburuk defect yang ada.
- Implikasi: menunjukkan masalah pada sistem fondasi atau damping, yang bisa menjadi isu jangka panjang jika lalu lintas meningkat.

5. Hasil Loading Test

- Penyebab Potensial: kapasitas desain struktur tidak memadai untuk beban aktual. Daerah I (elastis) sampai 150 kg/m² menunjukkan perilaku normal; Daerah II (retak) pada 150-350 kg/m² menandakan onset kerusakan; Daerah III (>350 kg/m²) adalah kegagalan (yield baja atau crush beton). Lendutan tetap setelah unloading mengindikasikan deformasi plastis permanen.
- Dampak: struktur hanya aman untuk beban rendah; melebihi 150 kg/m² berisiko retak, dan >350 kg/m² berpotensi runtuh. Ini berkaitan dengan defect pada balok ring, pelat, dan balok atap.
- Implikasi: bangunan memerlukan perkuatan untuk meningkatkan kapasitas beban, karena beban hidup standar untuk masjid (misalnya, kerumunan orang) bisa mencapai 200-400 kg/m² berdasarkan standar SNI (Standar Nasional Indonesia) atau ACI.
- Secara keseluruhan, masalah-masalah ini saling terkait: Penumpuan kubah yang salah menjadi akar penyebab defect dan getaran, sementara hasil loading test mengonfirmasi kelemahan material. Prioritas adalah mencegah kegagalan progresif, memastikan keselamatan, dan mematuhi kode bangunan seperti SNI 1726 (untuk gempa) dan SNI 2847 (untuk beton).

Rencana Perbaikan atau perkuatan struktur dapat dilaksanakan secara bertahap bertahap, yang terdiri dari inspeksi lanjutan, perbaikan jangka pendek (untuk defect akut), dan perkuatan jangka panjang (untuk meningkatkan kapasitas). Estimasi biaya dan waktu bergantung pada ukuran bangunan, tapi prioritas adalah area kubah dan lantai 2.

Tahap 1: Inspeksi dan Persiapan

- 1) Lakukan inspeksi visual dan non-destruktif (NDT) seperti ultrasonic pulse velocity (UPV) atau rebound hammer untuk mengukur kekuatan beton pada balok, pelat, dan lantai.
- 2) Uji getaran dengan accelerometer untuk mengukur frekuensi natural dan damping ratio.
- 3) Model struktur menggunakan software seperti ETABS atau SAP2000 untuk simulasi beban dan identifikasi titik lemah.

Tahap 2: Perbaikan Defect/Failure pada Balok dan Plat Atap

1) Metode Perbaikan:

- a) Untuk retak kecil (<0.3 mm): Injeksi epoxy resin untuk mengisi dan mengikat retak.
 - b) Untuk retak besar atau spalling: Patch repair dengan mortar polimer atau grout non-shrink, diikuti penggantian tulangan jika korosi parah.
 - c) Perkuatan: Tambah pelat baja atau fiber-reinforced polymer (FRP) seperti carbon fiber wrap pada balok dan pelat untuk meningkatkan kekuatan lentur dan geser.
- 2) Target: Pastikan struktur kembali ke daerah elastis hingga minimal 300 kg/m² beban.
 - 3) Waktu Estimasi: 2-4 minggu per area, tergantung luas defect.

Tahap 3: Koreksi Penumpuan Kubah

1) Metode Perbaikan:

- a) Jacking kubah sementara untuk redistribusi beban, lalu perkuat balok ring dengan penambahan baja profil (misalnya, H-beam) atau beton tambahan.
 - b) Jika perlu, rekonstruksi parsial: Tambah kolom pendukung atau bracket untuk mentransfer beban kubah langsung ke balok ring.
- 2) Target: Distribusi beban merata, mengurangi tegangan pada pelat luar hingga 50%.
 - 3) Waktu Estimasi: 4-6 minggu, dengan evakuasi area selama proses.

Tahap 4: Mitigasi Getaran pada Lantai 2

1) Metode Perbaikan:

- a) Tambah stiffener: Pasang diagonal bracing atau tambah tebal pelat dengan overlay beton ringan.
 - b) Instal tuned mass damper (TMD) atau viscous damper pada lantai untuk menyerap energi getaran dari beban manusia.
 - c) Perkuatan sambungan: Gunakan bolt atau weld tambahan pada joint balok-kolom.
- 2) Target: Kurangi amplitudo getaran hingga <5 mm pada beban dinamis, sesuai standar comfort ISO 2631.
 - 3) Waktu Estimasi: 3-5 minggu.

Tahap 5: Mitigasi Getaran dari Lalu Lintas

1) Metode Perbaikan:

- a) Perkuat fondasi: Tambah pile atau grouting tanah untuk meningkatkan stiffness.
 - b) Instal isolator getaran seperti rubber bearing atau spring isolator di base struktur.
 - c) Jika memungkinkan, tambah barrier getaran di jalan depan (koordinasi dengan pemerintah setempat).
- 2) Target: Kurangi transmisi getaran hingga <0.5 mm/s velocity.

3) Waktu Estimasi: 4-8 minggu, termasuk pekerjaan tanah.
Tahap 6: Pengujian dan Monitoring Pasca-Perbaikan

- 1) Ulangi loading test hingga 400 kg/m² untuk verifikasi, pastikan tidak ada lendutan permanen.
- 2) Instal sensor monitoring (strain gauge dan accelerometer) untuk pemantauan jangka panjang, terutama pada area kubah.
- 3) Sertifikasi ulang bangunan oleh otoritas terkait.

Metode perbaikan dan perkuatan adalah sebagai berikut:

Elemen Struktur	Masalah Utama	Metode Perbaikan/Perkuatan	Prioritas	Estimasi Biaya Relatif
Balok Ring Kubah	Penumpuan salah, defect	Injeksi epoxy + FRP wrap + redistribusi beban	Tinggi	Tinggi (material khusus)
Plat Atap & Balok Sekitar Kubah	Defect/failure, retak	Patch repair + pelat baja tambahan	Tinggi	Sedang
Lantai 2	Getaran dinamis	Stiffener + damper	Sedang	Sedang
Fondasi/ Gedung Keseluruhan	Getaran eksternal	Isolator + grouting	Rendah	Tinggi (pekerjaan tanah)

akut), dan perkuatan jangka panjang (untuk meningkatkan kapasitas).

DAFTAR PUSTAKA

- (1) SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Struktur lainnya
- (2) SNI 2847:2019 Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung
- (3) SNI 1727:2013 Beban Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya
- (4) SNI 03-1729-2002 Pengujian Beban pada Struktur Gedung Perpustakaan Beserta Perabotnya Untuk SD/SDLB

4. KESIMPULAN

Berdasarkan assessment yang dilakukan dapat disampaikan hal-hal sebagai berikut:

- 1) Kubah seharusnya menumpu pada balok ring kubah, tetapi yang terbangun kubah menumpu pada pada balok dan pelat di luar balok ring kubah.
- 2) Ditemukan beberapa defect/failure pada balok dan plat atap di sekitar kubah.
- 3) Getaran terjadi pada sebagaian lantai 2 ketika dibebani orang yang meloncat.
- 4) Ditemukan beberapa defect/failure pada balok dan plat atap di sekitar kubah.
- 5) Getaran terjadi pada sebagai lantai 2 ketika dibebani orang yang meloncat.
- 6) Gedung terasa bergetar jika terdapat truck yang melalui jalan di depan masjid.
- 7) Hasil loading test:
 - Pada beban 0 sampai dengan sekitar 150 kg/m² maka balok ring, pelat dan balok berada pada Daerah I (daerah Elastis)
 - Pada beban sekitar 150 kg/m² sampai 350 kg/m² maka balok ring, pelat dan balok berada pada Daerah II (daerah Retak)
 - Setelah beban 350 kg/m² maka balok ring, pelat dan balok atap masuk pada Daerah III (daerah baja lelah atau beon pecah)
 - Lendutan tetap terjadi ketika dilakukan unloading sampai dengan beban uji 0.

Rencana Perbaikan atau perkuatan struktur dapat dilaksanakan secara bertahap bertahap, yang terdiri dari inspeksi lanjutan, perbaikan jangka pendek (untuk defect