



Implementasi Sistem Struktur *Soko Guru* pada Masjid Berkubah Beton

Mohammad Kusyanto¹, Afriyanto Sofyan², Cristophorus Koesmartadi³

¹ Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Fatah Demak.

^{2,3} Program Studi Arsitektur Fakultas Arsitektur dan Desain Universitas Katolik Soegijapranata Semarang.

| Diterima 17 Juni 2022 | Disetujui 20 September 2022 | Diterbitkan 30 September 2022 |

| DOI <http://doi.org/10.32315/jlbi.v11i3|155>

Abstrak

Pengembangan masjid sebagai tempat ibadah untuk menampung jamaah yang lebih banyak dan mengikuti perkembangan teknologi mendasari masyarakat membangun masjid berkubah yang megah dengan konstruksi beton. Struktur *soko guru* dipertahankan untuk menopang beban kubah beton masjid. Keterbatasan pendanaan dan pengetahuan memunculkan permasalahan dalam implementasi sistem struktur *soko guru* yang digunakan dalam bangunan masjid. Artikel ini bertujuan untuk memberikan gambaran pengetahuan implementasi sistem struktur *soko guru* dalam kaitannya dengan sistem struktur lain pada masjid berkubah beton. Metode penelitian dengan kualitatif dengan pendekatan studi kasus pada salah satu masjid berkubah beton. Metode pengumpulan data dengan survei dan wawancara kepada panitia pembangunan. Analisis sistem struktur meliputi kolom, balok (balok induk dan balok anak), *joint* kolom-balok, dan balok kubah pada masjid. Analisis perbandingan dimensi balok dan kolom dengan menggunakan panduan rumus kaidah praktis serta dikuatkan dengan analisis momen dan cek desain struktur dengan menggunakan software ETABS versi 9.6. Hasil penelitian menunjukkan adanya implementasi sistem struktur *soko guru* penopang kubah yang dapat menimbulkan beban tekuk (*buckling*) tanpa perkuatan balok terhadap kolom. Balok kantilever yang menopang balok kubah tanpa pengaku/*bracing* rentan terhadap retak dan patah pada sistem struktur tersebut. Kombinasi sistem struktur balok kantilever dan *soko guru* secara keseluruhan lebih aman sistem strukturnya.

Kata-kunci: masjid berkubah, sistem struktur, *soko guru*, implementasi

Implementation of the *Soko Guru* Structure System in a Concrete Domed Mosque

Abstract

The community's desire to create a spectacular domed mosque with concrete construction is motivated by the need to expand the mosque as a place of worship to accommodate more worshippers and keep up with technological advancements. The *soko guru* structure system is maintained to support the weight of the mosque's concrete dome. Limited funding and knowledge raises problems in the implementation of the *soko guru* structure system used in mosque buildings. The purpose of this article is to give an overview of the knowledge of the implementation of the *soko guru* structure system in relation to other structural systems in a concrete domed mosque. The research method is qualitative with a case study approach in one of the mosques with a concrete dome. Methods of collecting data by surveys and interviews with the development committee. Analysis of the structural system includes columns, beams (main beams and subsidiary beams), column-beam joints, and dome beams in the mosque. Comparative analysis of the dimensions of beams and columns using practical rule formula guidelines and strengthened by moment analysis and structural design checks using ETABS software version 9.6. The results of the study indicate that there is an implementation of a dome support the *soko guru* structure system that can cause buckling loads without beam reinforcement to the column. Cantilever beams that support dome beams without bracing are susceptible to cracks and fractures in the structural system. The combination of the cantilever beam and the *soko guru* structure system of the overall the structural system is safer.

Keywords: domed mosque, structural system, *soko guru*, implementation

Kontak Penulis

Mohammad Kusyanto
Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Fatah
Jl. Sultan Fatah KM 25 Demak
Telp/Fax: +62-291-686227
E-mail: mohammad_kusyanto@unisfat.ac.id



Pendahuluan

Kemajuan teknologi dalam material bangunan menumbuhkan keinginan masyarakat dalam membangun tempat ibadah dengan menggunakan konstruksi beton dan mendesain bangunan dengan penutup atap berupa kubah. Konstruksi bangunan dari beton menuntut sistem struktur yang kuat untuk menopangnya. Perubahan sistem struktur dari bangunan masjid sebelumnya yang beratap *tajug* disesuaikan dengan bangunan berkubah beton. Bangunan masjid bertingkat menjadi pilihan masyarakat agar mampu menampung jumlah jamaah yang semakin banyak. Sistem struktur bangunan bertingkat dirancang sedemikian rupa agar mampu memberikan keselamatan bagi jamaah.

Faktor keselamatan bangunan gedung salah satunya memiliki persyaratan struktur bangunan gedung [1], untuk mendukung beban muatan [2]. Struktur bangunan (*building structure*) sebagai suatu sarana yang menyalurkan beban ke dalam tanah dalam rangka mendukung konsep arsitektur (*architecture concept*). Fungsi statis dalam arsitektur tergantung pada bentuk struktur bangunan [3]. Struktur harus mampu mencapai keadaan setimbang akibat aksi beban yang diberikan [4]. Suatu struktur dianggap kukuh apabila mempunyai kekukuhan di berbagai arah, sedangkan yang dimaksud dengan kekukuhan adalah mampu mengantisipasi beban sehingga terjadi deformasi (perubahan bentuk) yang seminimal mungkin. Sedangkan fungsi dan struktur itu sendiri pada umumnya adalah melindungi kebutuhan ruang kegiatan dan mendukung atau menahan dan menyalurkan beban [5].

Perkembangan pengetahuan dan teknologi dalam membangun, menyebabkan masyarakat mulai membangun masjid dengan kubah, karena lebih memperlihatkan arsitektur Islam [6], [7], sebagai simbol [8] dan identitas masjid [9]. Bentuk atap kubah merupakan pengaruh Timur Tengah dibawa ke Indonesia oleh para kyai/ulama yang sedang naik haji [10]. Beberapa kecenderungan utama dalam citra bentuk masjid di Asia Tenggara yakni bentuk "*Javanese Vernacular*" atau masjid-masjid tradisional Jawa dengan ciri atap berbentuk piramida bersusun, bentuk "*Indo-Arabic Cross Cultural Mix*" atau masjid yang didominasi bentuk-bentuk busur dan kubah, serta bentuk modern. [11] Dalam perkembangannya, masjid-masjid tradisional beratap tumpang digantikan masjid kubah (*qubbah*) dengan

minaret-minaret gaya Timur Tengah atau India Utara [12].

Masjid yang dibangun oleh masyarakat menggunakan bahan bangunan beton yang merupakan campuran semen dengan agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa menggunakan bahan tambahan. Pada proses pencampurannya, bahan-bahan pembuat beton tersebut akan mengalami pengerasan dan membentuk suatu bahan yang dianggap homogen. Kekuatan (mutu) dan daya tahan/keawetan (*durabilitas*) merupakan karakteristik utama dari beton yang harus diperhitungkan dalam perencanaannya. Semakin tinggi kekuatan yang direncanakan, semakin tinggi pula daya tahannya. Beton yang baik sangat penting untuk melindungi besi tulangan yang ada di dalam inti beton terhadap pengaruh dari luar [13].

Proses perencanaan masyarakat dilakukan secara swadaya baik dalam perancangan bangunan maupun dalam proses pembangunan. Rancangan bangunan mengandalkan perancang/arsitek sekitarnya yang dikenal. Rancangan dibuat dengan mengoptimalkan *site* yang ada dengan tujuan untuk menghasilkan rancangan bangunan yang besar yang mampu menampung jamaah lebih banyak meskipun tidak sesuai dengan aturan KLB dan KDB setempat. Sedangkan proses pembangunan dilakukan secara bertahap (*incremental*) tergantung dari dana yang terkumpul yang dihasilkan dari donasi masyarakat dan sebagian bantuan pemerintah serta menggunakan tenaga kerja dari lingkungan sendiri. Tahapan ini juga menyebabkan pembangunan struktur dan konstruksi bangunan dilakukan secara bertahap. Hal ini menjadi sangat rentan terhadap kekuatan struktur dan konstruksi terhadap kerekatan antar bagian struktur dan konstruksi di lantai satu, lantai dua atau integrasi lantai satu-lantai dua masjid.

Kubah beton yang dirancang oleh masyarakat merupakan kubah dengan beton masif. Kubah ini memiliki beban yang sangat besar. Proses pelaksanaan pengecoran kubah ini dilakukan secara gotong royong oleh masyarakat sendiri, sehingga masih dipertanyakan kualitas kubah betonnya. Penggunaan kubah beton ini membutuhkan sistem struktur yang kuat untuk menopang beban kubah beton tersebut. Sistem struktur yang digunakan dalam menopang kubah ini sebagian masih mempertahankan penggunaan *soko guru* untuk menopang atap (kubah beton) sehingga peran *soko guru* menjadi sangat penting dalam sistem struktur bangunan masjid.

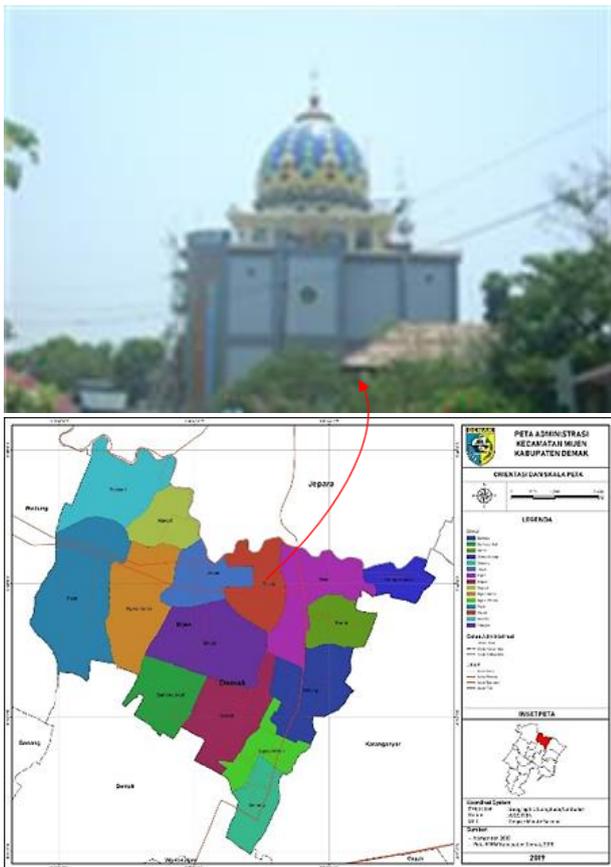
Masyarakat memiliki keterbatasan dalam pendanaan dan pengetahuan membangun masjid berkubah beton sehingga bangunan masjid yang dibangun masyarakat masih sangat rentan menimbulkan efek dari sistem struktur tersebut.

Penelitian ini akan memberikan pengetahuan bagi masyarakat atau pihak lain terhadap implementasi sistem struktur dengan *soko guru* pada masjid berkubah beton. Penelitian ini penting dilakukan dikarenakan keinginan masyarakat membangun masjid dengan megah belum diikuti pengetahuan yang baik dalam sistem struktur bangunan agar bangunan aman terhadap keselamatan jamaah.

Metode

Metode penelitian yang digunakan adalah kualitatif dengan pendekatan studi kasus [14] pada bangunan masjid berkubah beton. Metode pengumpulan data dengan survei dan wawancara kepada panitia pembangunan. Analisis dilakukan pada penggunaan sistem struktur yang digunakan oleh masjid.

Metode Pengumpulan Data



Gambar 1. Lokasi masjid Istiqomah Desa Pecuk Kecamatan Mijen Kabupaten Demak [15]

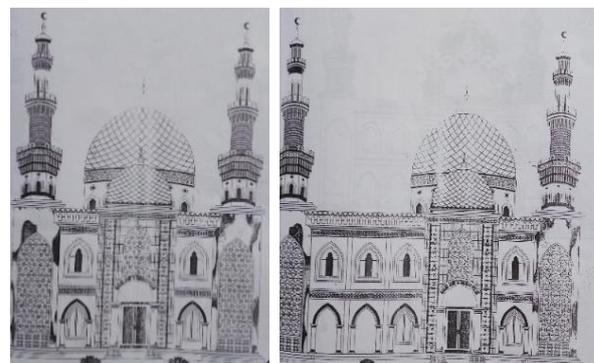
Pemilihan objek penelitian dilakukan dengan data 249 masjid di masing-masing desa di Kabupaten Demak didapatkan 28 masjid berkubah beton yang terdiri dari 21 masjid menggunakan soko guru dan 7 masjid tanpa soko guru. Data yang dijadikan studi kasus adalah masjid Istiqomah desa Pecuk yang memiliki struktur konstruksi soko guru yang unik. Metode pengumpulan data dengan survei dan wawancara kepada panitia pembangunan masjid Istiqomah desa Pecuk Kecamatan Mijen Kabupaten Demak yang letaknya dapat dilihat pada gambar 1. Pengumpulan data survei dilakukan dengan mengukur dimensi struktur bangunan masjid. Pengukuran dimensi pendek menggunakan alat meteran sedangkan untuk dimensi yang panjang menggunakan pengukur jarak laser (*Laser Distance Meter*).

Metode Analisis Data

Analisis dilakukan pada penggunaan sistem struktur masjid tersebut. Analisis yang dilakukan dengan analisis kolom, balok (balok induk dan balok anak), *joint* kolom-balok, dan balok kubah. Analisis struktur dengan pendekatan kaidah perhitungan praktis untuk menentukan dimensi balok dan penampang kolom [16], sehingga didapatkan hasil penyimpangan atau perbedaan dimensi struktur tersebut. Untuk mendapatkan gambaran momen dan desain struktur dari struktur masjid dilakukan analisis dengan menggunakan *software* ETABS versi 9.6.

Hasil dan Pembahasan

Bangunan masjid Istiqomah ini telah didesain oleh masyarakat sebagai acuan membangun masjid tersebut yang dilaksanakan secara bertahap. Desain masjid dari masyarakat sendiri sesuai dengan pengetahuan masyarakat terhadap bangunan yang dapat dilihat pada gambar 2. Masyarakat membangun masjid disesuaikan dengan pendanaan yang dimiliki.



Gambar 2. Desain masjid Istiqomah [17]

Dimensi sistem struktur dalam desain tersebut telah direncanakan oleh masyarakat seperti terlihat pada tabel 1. Masjid memiliki tinggi bangunan yang diukur dari lantai satu sampai ke balok kubah 12,25 meter, sedangkan bentang kubah dengan diameter 6 meter. Kubah ditopang oleh *soko guru* yang memiliki diameter 45 cm. Keempat *soko guru* berjarak 5,30 m antar kolom. Namun jarak antar kolom sekunder bervariasi yakni: 3,0 m, 3,3 m, 4,0 m, dan 4,3 m. Balok induk yang menopang lantai dua 50/30 cm dan balok anak 25/15 cm.

Tabel 1. Dimensi sistem struktur masjid

Tinggi Kubah	Bentang Kubah	Diameter Kolom	Balok Induk	Balok Anak	Jarak Antar Soko Guru	Jarak antar Kolom Sekunder
12,25 m	6 m	45 cm	50/30 cm	25/15 cm	5,3 m	3,0 m 3,3 m 4,0 m 4,3 m

Data tersebut di atas dilakukan analisis perbandingan dimensi balok dan kolom dengan menggunakan panduan rumus kaidah praktis untuk dalam mencari tinggi dan lebar balok induk, tinggi dan lebar balok anak dan besaran penampang kolom:

$$\text{Tinggi Balok Induk} = \frac{1}{12} L \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Lebar Balok Induk} = \frac{1}{2} h \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Tinggi Balok Anak} = \frac{1}{15} L \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{Lebar Balok Anak} = \frac{1}{2} h \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{Penampang kolom} = \text{Lebar balok} + (2 \times 5 \text{ cm}) \dots\dots\dots(5)$$

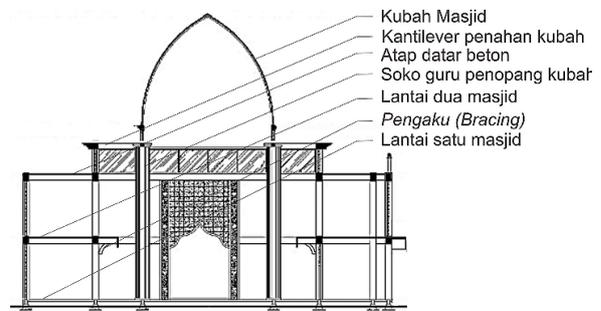
dimana:

L = jarak bentangan balok

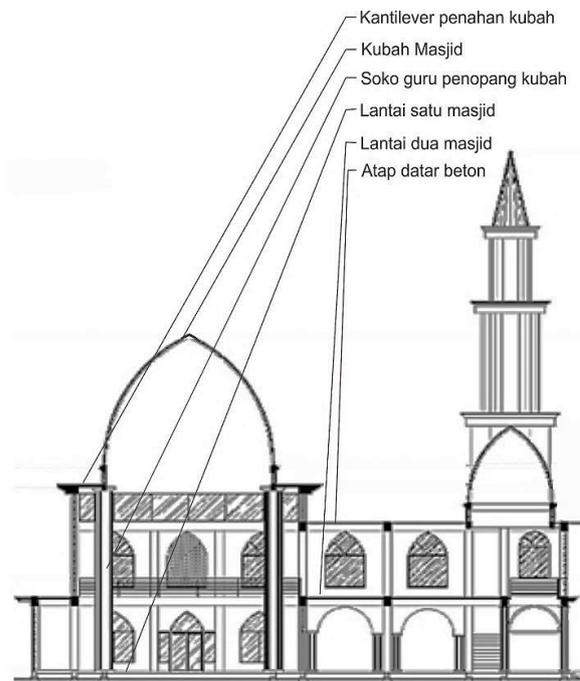
h = tinggi balok induk/anak

Hasil analisis menunjukkan dimensi balok induk, balok anak dan penampang kolom yang digunakan pada sistem struktur masjid Istiqomah sudah memiliki dimensi yang sesuai dengan kaidah praktis dimensi. Balok induk 50/30 cm lebih besar dibandingkan perhitungan 33/17 cm, untuk balok anak 25/15 cm lebih besar secara perhitungan 22/11 cm dan penampang kolom Ø 45 lebih besar secara perhitungan Ø 27 cm. Perencanaan dimensi balok induk, balok anak dan penampang kolom oleh masyarakat mampu untuk menahan beban-beban yang ada dalam struktur konstruksi masjid. Namun diperlukan perhitungan yang lebih mendalam dimensi tersebut terhadap beban kubah beton yang besar.

Masyarakat merancang bangunan masjid berkubah dua lantai dengan penutup atap datar dan kubah terbuat dari material beton. Dominasi material beton ini menuntut sistem struktur menggunakan bahan material beton yang kuat menahan beban yang ada. Desain bentang kubah yang besar pada gambar 3 menjadi permasalahan dalam struktur penopang kubah.



(a)



(b)

Gambar 3. (a) potongan 1 dan (b) potongan 2 desain masjid Istiqomah

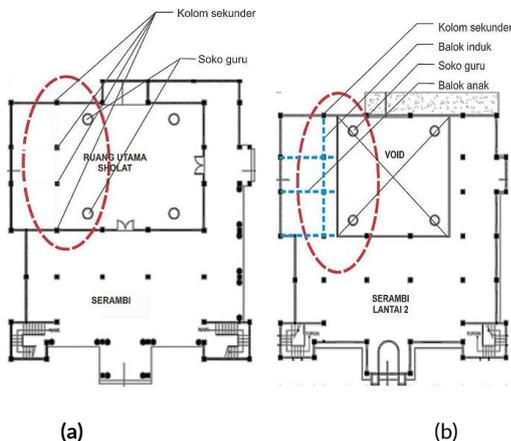
Bangunan masjid berkubah dibangun dengan menggunakan konstruksi beton. Kolom yang di tengah berjumlah empat sebagai *soko guru*, sedangkan kolom yang mengelilingi *soko guru* adalah kolom sekunder. Kolom berfungsi sebagai pendukung beban-beban dari balok dan pelat untuk diteruskan ke tanah dasar melalui pondasi. Struktur jarak antar kolom dalam ruang utama masjid berkubah beton memiliki modul peletakan jarak *soko guru* tersebut.

Soko guru dibangun dari pondasi langsung menjulang ke atas menopang atap beton menumpu balok kubah yang melingkar mengikuti bentuk kubah seperti terlihat pada gambar 4. Ketinggian balok kubah dari lantai adalah 12,25 meter, sehingga *soko guru* memiliki ketinggian 12,25 meter. Yang menarik dari *soko guru* ini, tidak terdapat balok penguat di lantai dua yang mengikat *soko guru* ini sehingga kekuatan *soko guru* ini terletak pada kekuatan kesolidan material *soko guru*. Kemampuan pengetahuan masyarakat dalam membangun *soko guru* masih dipertanyakan tingkat kekuatannya baik dari kualitas pembesian maupun material beton yang dicampurkan pada pembesian.



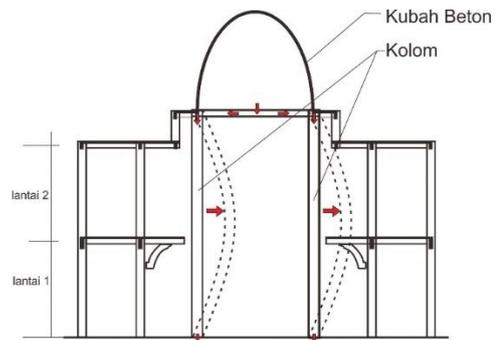
Gambar 4. (a) Posisi *soko guru* bawah dan (b) *soko guru* yang menopang langsung struktur kubah

Masjid berkubah beton memiliki dimensi jarak antar kolom dengan *soko guru* mengikuti bentang kubah yang digunakan oleh bangunan masjid. Penggunaan *soko guru* sebagai penopang kubah beton menyebabkan ruang terasa sempit. *Soko guru* memiliki jarak antar kolom berbeda dengan jarak antar kolom sekunder. Peletakan jarak antar kolom *soko guru* tidak sama apabila dihubungkan kolom sekunder. Peletakan ini menyebabkan sambungan *soko guru* dengan balok induk-balok anak tidak terjadi di tengah *soko guru* seperti terlihat pada gambar 5. Balok yang tidak tepat di kolom menyebabkan rawan terhadap kerusakan pada sistem strukturnya.



Gambar 5. Pergeseran peletakan *soko guru* dengan kolom sekunder pada (a) lantai satu dan (b) lantai dua

Kubah beton pada masjid Istiqomah memberi beban yang besar ke struktur yang menopangnya. Struktur dan konstruksi masjid ini juga mendapat beban dari luar yang bekerja secara aksial yang akan menekuk secara literal. *Soko guru* yang menopang beban kubah yang besar (beban *buckling*), menyebabkan kolom akan memiliki risiko menekuk terlebih dahulu sebelum hancur/gagal. Akibat beban *buckling* ini bisa menyebabkan risiko gagalnya suatu konstruksi seperti terlihat pada gambar 6.



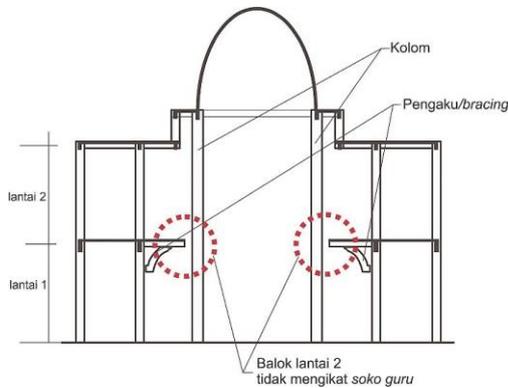
Gambar 6. *Buckling* kolom masjid Istiqomah

Masjid Istiqomah memiliki dimensi langsing pada sistem struktur *soko guru*. Dengan lebar antar kolom 5,3 meter dan tinggi kolom 12,25 meter maka sistem struktur akan mengalami tegangan tekan yang berimbang pada instabilitas tekuk/*buckling* atau suatu struktur tidak mampu mempertahankan bentuk aslinya, sedemikian rupa berubah bentuk dalam rangka mempertahankan bentuk aslinya untuk menemukan keseimbangan baru. Permasalahan geometrik dasar menjadi konsekuensi *buckling* dengan adanya lendutan besar akan mengubah bentuk struktur dikarenakan mendapat tekanan aksial. Peletakan kolom sekunder yang bergeser terhadap jarak antar *soko guru*, menyebabkan *soko guru* berdiri sendiri sebagai struktur penopang kubah seperti terlihat pada gambar 7.



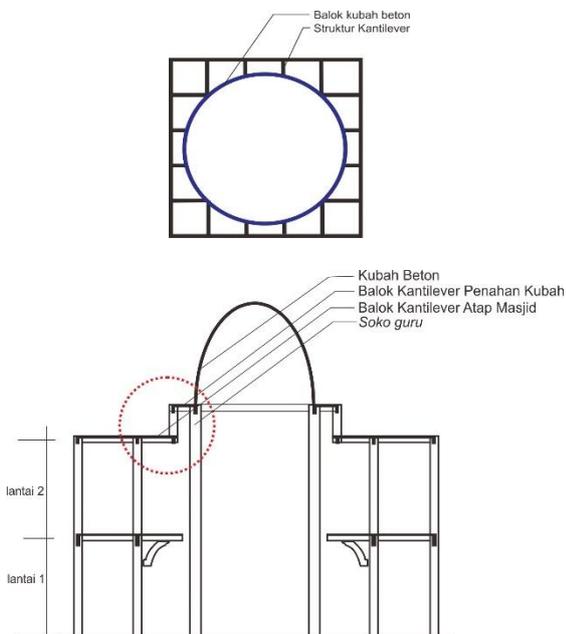
Gambar 7. Pergeseran peletakan *soko guru* dengan kolom sekunder

Hal ini menyebabkan muncul kantilever pada kolom sekunder. Kantilever ini memiliki lebar yang besar sehingga masyarakat mengatasinya dengan memberikan *bracing* untuk menopang balok lantai dua tersebut seperti terlihat pada gambar 8. Jarak antar kolom sekunder tidak ditambahkan *bracing* karena sudah ditumpu oleh kolom sekunder.



Gambar 8. Penempatan *bracing* menopang balok lantai dua

Struktur yang menopang kubah beton selain soko guru juga kantilever dari sistem struktur yang ditopang oleh kantilever pada balok atap datar beton masjid seperti terlihat pada gambar 9. Kantilever-kantilever tersebut sangat rentan terjadinya retak atau patah saat beban kubah yang memiliki diameter yang besar tersebut dialirkan dari balok kubah ke kantilever.

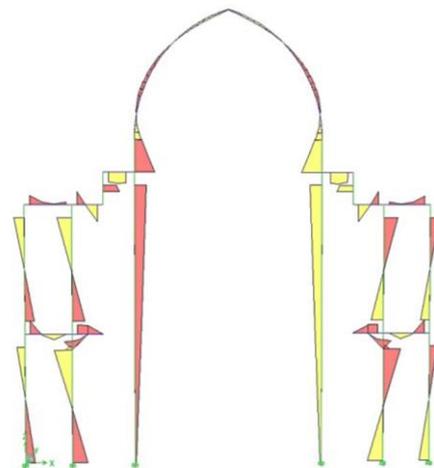


Gambar 9. Penggunaan kantilever untuk menahan beban kubah beton

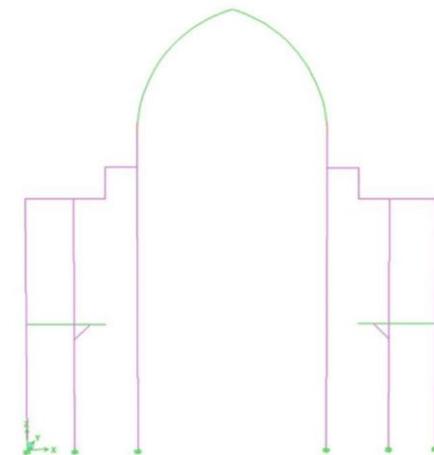
Empat *soko guru* yang ada dapat difungsikan untuk mengurangi beban yang dialirkan ke kantilever

dengan menyalurkan beban kubah beton dari balok kubah ke *soko guru* diteruskan ke tanah melalui pondasi. Namun *soko guru* ini juga rentan terjadi patah karena tidak diikat oleh balok yang ada di lantai dua masjid. Keberadaan masjid di tepi jalan antar desa dengan pergerakan kendaraan yang lewat jalan tersebut menjadi satu ancaman yang perlu diwaspadai oleh pengurus masjid. Kondisi desa Pecuk yang masuk daerah yang jauh dari gempa juga membantu dalam ketahanan sistem struktur ini.

Sistem struktur masjid Istiqomah dilakukan analisis momen dan cek desain struktur dengan menggunakan dengan menggunakan *software* ETABS versi 9.6. Pengecekan struktur hanya memasukkan beban mati, beban hidup, beban kombinasi 1 dan kombinasi 2, belum memasukkan beban gempa, beban angin seperti terlihat pada gambar 10. Pengecekan desain struktur seperti pada gambar 11 bertujuan untuk mengetahui *frame* yang *over stress* yang ditandai dengan warna merah yang artinya *frame* tersebut gagal atau tidak kuat menahan beban.



Gambar 10. Momen struktur masjid Istiqomah ETABS versi 9.6



Gambar 11. Cek desain struktur masjid Istiqomah dengan ETABS versi 9.6

Frame tidak ada warna merah sehingga struktur tersebut aman menahan beban mati, beban hidup, serta beban kombinasi 1 dan 2. Untuk kolom dan balok berwarna merah muda nilai *interaction ratio* hampir mendekati warna merah dengan nilai 0,90 - 0,99 menunjukkan kekuatan struktur tersebut kurang aman tetapi sangat ekonomis. Struktur balok dan kolom kubah ditandai dengan warna hijau mempunyai nilai *interaction ratio* sebesar 0,50 - 0,69 menunjukkan kekuatan struktur tersebut aman tetapi sedang atau cukup ekonomis.

Sistem struktur yang digunakan oleh masjid Istiqomah secara keseluruhan masih aman dan cukup wajar dipakai beribadah di dalam masjid tersebut. Namun diperlukan penambahan dimensi kolom dan balok yang berwarna merah muda dikarenakan struktur tersebut hampir mendekati warna merah atau hampir gagal struktur yang hanya memasukkan beban mati, beban hidup, beban kombinasi 1 dan kombinasi 2, sehingga perlu antisipasi terhadap beban gempa, beban angin dan lainnya. Proses penambahan dimensi kolom dan balok ini menemui banyak kendala disebabkan sistem struktur beton ini yang *rigid* menyatu dengan struktur yang lain.

Berdasarkan analisis di atas, struktur kolom dan balok pada masjid berkubah beton disesuaikan dengan peruntukan masjid sebagai tempat ibadah. Masjid berkubah beton membutuhkan ruang utama yang aman dalam sistem strukturnya. Hasil analisis menunjukkan sistem struktur penggunaan *soko guru* yang langsung menopang kubah bangunan masjid tanpa penguatan balok di lantai dua, sangat rawan terjadi *deformasi* (perubahan bentuk) yang sangat berbahaya dan berisiko *soko guru* patah serta kubah akan roboh. Modul jarak antar kolom dalam sistem *soko guru* memiliki jarak yang sama dengan jarak antar kolom sekunder memudahkan dalam sistem sambungan balok dan kolom berada di buhul kolom sehingga sesuai dengan kaidah struktur. Modul jarak antar kolom *soko guru* yang berbeda dengan jarak antara kolom bahkan cenderung lebih besar dari jarak antar kolom sekunder. Untuk memperkuat modul ini maka dimensi balok yang menghubungkan antar kolom dibuat lebih besar baik tinggi maupun lebarnya. Modul yang peletakan kolom *soko guru* bergeser dari peletakan kolom sekunder, maka sambungan balok dan kolom ini sangat rawan terhadap kerusakan, retak dan patah.

Sistem struktur dirancang dapat mengalirkan beban yang ditopangnya dan beban lain yang

mempengaruhinya [18]. Kolom beton bertulang merupakan elemen penting dalam suatu struktur bangunan. Karena kolom mampu memikul beban aksial. Kerusakan pada kolom dapat menyebabkan fungsi utama dari bangunan tersebut sudah tidak lagi dapat terpenuhi sehingga gedung tersebut telah mengalami kegagalan [19]. Sedangkan balok digunakan untuk mentransfer beban vertikal secara horizontal [20].

Peran balok dan kolom sangat penting. Balok sebagai salah satu dari elemen struktur portal yang arahnya horizontal, sedangkan portal merupakan kerangka utama dari struktur bangunan, khususnya bangunan gedung [21]. Balok merupakan komponen pemikul momen yang akan menyalurkan beban ke kolom. Balok dimodelkan sebagai *frame* yang memiliki *joint* yang kaku sehingga momen-momen maksimum terjadi di ujung balok. Struktur balok yang diberi beban lentur akan mengakibatkan terjadinya momen lentur pada balok tersebut, sehingga akan terjadi deformasi (regangan) lentur dalam balok tersebut. Regangan-regangan yang terjadi tersebut akan menimbulkan tegangan pada balok [22]. Kolom merupakan elemen struktur yang berfungsi menopang struktur secara vertikal dan menerima gaya-gaya berupa beban lateral dan gaya dari elemen balok, kemudian gaya tersebut didistribusikan kepada pondasi untuk diteruskan kepada lapisan tanah keras.

Sistem struktur masjid berkubah beton memperkuat teori dari [3] bahwa untuk mencapai fungsi statis dalam arsitektur tergantung pada bentuk struktur bangunan. Penggunaan sistem struktur berkubah dengan menggunakan kolom utama (*soko guru*) berpengaruh terhadap kesetimbangan bangunan masjid. Struktur harus mampu mencapai keadaan setimbang akibat aksi beban yang diberikan [4]. Struktur dianggap kukuh apabila mampu mengantisipasi beban sehingga terjadi deformasi (perubahan bentuk) yang seminimal mungkin [5]. Hasil penelitian membuktikan sistem struktur yang tidak saling menguatkan antara kolom utama dengan kolom sekunder memberikan dampak terjadinya deformasi yang besar yang berisiko terjadi kegagalan sistem struktur.

Penggunaan balok kantilever sebagai penahan beban kubah beton sangat rentan retak/patah. Untuk memperkuat kantilever ini perlu ditambahkan pengaku/*bracing* pada setiap balok kantilever. Keretakan/patah pada *joint* kolom-balok dapat diatasi dengan penggunaan *bracing* ini. Kolom sebagai

komponen struktur yang memegang peranan penting dalam menerima beban tekan aksial dan meneruskannya ke pondasi. Umumnya kolom sangat rentan terhadap bahaya tekuk (*buckling*) yang merupakan suatu ragam kegagalan diakibatkan oleh ketidakstabilan suatu elemen struktur yang dipengaruhi oleh aksi beban (beban tekuk). Risiko akibat pembebanan secara aksial pada struktur tersebut, dapat menyebabkan risiko kolom akan membengkok bahkan patah. Kombinasi antara balok kantilever dan kolom (*soko guru*) menyebabkan sistem struktur masjid ini aman, namun dimensi balok dan kolom ini harus disesuaikan dengan beban kubah beton yang sangat besar.

Kesimpulan

Masjid berkubah yang dibangun masyarakat dengan material beton selain menampilkan bangunan dengan kesan kuat dan megah, namun bila penggunaan sistem struktur kurang tepat akan memberikan dampak yang berbahaya bagi jamaah yang melaksanakan ibadah di dalam masjid. Kubah beton memiliki beban yang sangat besar yang menuntut sistem struktur yang kuat dalam menopang beban tersebut. Dimensi balok induk, balok anak dan penampang sudah sesuai dengan panduan rumus kaidah praktis sehingga aman sebagai sistem struktur bangunan. Namun diperlukan penghitungan yang tepat mengingat beban kubah beton yang sangat besar.

Pergeseran letak *soko guru* dengan kolom sekunder memberikan dampak tidak saling mengikat antar elemen struktur sehingga tidak adanya perkuatan antar kolom dan balok. Implementasi sistem struktur ini dapat menyebabkan risiko deformasi/perubahan bentuk pada elemen struktur dan konstruksi masjid. Risiko yang lebih parah dapat terjadi munculnya retak-retak dan bahkan patah/robok.

Keberadaan *soko guru* yang berjumlah empat kolom berfungsi menyalurkan gaya beban dari atap kubah beton ke dalam tanah. Penggunaan kolom yang panjang dengan jarak antar kolom yang pendek menyebabkan bangunan memiliki struktur yang langsing. Sistem struktur ini sangat rentan terjadinya tekuk (*buckling*) yang menyebabkan ketidakstabilan sistem struktur sehingga terjadi kegagalan struktur.

Penggunaan balok kantilever sebagai sistem struktur penopang beban kubah beton perlu diperkuat dengan pengaku/*bracing* untuk menjaga stabilitas kolom penopang dan balok kantilevernya. Ketidakterdapatnya *bracing* rentan pada *joint* kolom dan balok kantilever

akan muncul retak-retak atau lebih fatal lagi terjadi patah.

Daftar Pustaka

- [1] Diharto and N. Ristya Mulia, "Evaluasi Keandalan Bangunan Rusunawa Unnes Ditinjau Dari Persepsi Mahasiswa Yang Menghuninya," *J. Tek. Sipil dan Perenc.*, vol. 14, no. 1, pp. 51–60, 2012, doi: 10.15294/jtsp.v14i1.7104.
- [2] Samsunan, "Tinjauan Keandalan Bangunan Gedung Administrasi Rektorat Universitas Teuku Umar Meulaboh," *J. Tek. Sipil dan Teknol. Konstr.*, vol. 3, no. 4, pp. 77–86, 2017, [Online]. Available: <http://jurnal.utu.ac.id/jtsipil/article/download/221/199>.
- [3] H. Frick, A. Ardiyanto, and A. Darmawan, *Seri Konstruksi Arsitektur 8: Ilmu Fisika Bangunan*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius, 2007.
- [4] A. J. Macdonald, *Struktur Dan Arsitektur*. Jakarta: Erlangga, 2002.
- [5] E. Krisnanto, D. Hardijana, and Noryanto, "Keandalan Struktur Bangunan terhadap Gempa Bumi pada Bangunan Rumah Tinggal Padat Penduduk di Perkotaan," *Univ. Pendidik. Indones.*, pp. 1–22, 2009, [Online]. Available: <https://adoc.pub/artikel-penelitian-keandalan-struktur-bangunan-terhadap-gemp.html>.
- [6] IKAPI, *Pencerminan Nilai Budaya dalam Arsitektur di Indonesia*. Jakarta: Djambatan, 1985.
- [7] A. Rochym, *Mesjid dalam Karya Arsitektur Nasional Indonesia*. Bandung: Penerbit Angkasa, 1983.
- [8] J. Prijotomo, "Arsitektur Masjid tanpa Arsitek," 2001.
- [9] M. Faqih, J. Prijotomo, M. Sulistyowati, and P. Setijanti, *Tipologi Arsitektur Masjid-Tanpa-Arsitek*. Surabaya: Laporan Penelitian Tidak Diterbitkan, Lembaga Penelitian Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 1992.
- [10] M. S. B. Iskandar, "Tradisionalitas Dan Modernitas Tipologi Arsitektur Masjid," *Dimens. (Jurnal Tek. Arsitektur)*, vol. 32, no. 2, pp. 110–118, 2004, [Online]. Available: <https://dimensi.petra.ac.id/index.php/ars/article/view/16182/16174>.
- [11] R. B. Santoso, *Atap (Masjid Sunan Ampel) dalam Dinamika Arsitektur Masjid Kotemporor Nusantara*. Bandung: Pusat Studi dan dokumentasi Masjid Nusantara ITB, 2000.
- [12] P. J. . Nas, *Masa Lalu dalam Masa Kini: Arsitektur di Indonesia*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 2009.

- [13] S. P. Budio, R. Anggraini, A. Zacoeb, and E. Wahyuni, "Analisis Kapasitas dan Keandalan Bangunan Studi Kasus: SMA 1 Madiun," *J. Rekayasa Sipil*, vol. 9, no. 1, pp. 15–20, 2015.
- [14] J. W. Creswell, *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. California: Sage Publications, Inc., 2014.
- [15] Bappeda, "RTRW Kabupaten Demak," Demak, 2018.
- [16] W. C. Vis and G. H. Kusuma, *Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga, 1997.
- [17] Panitia Pembangunan Masjid, "Proposal Pembangunan Masjid Istiqomah Desa Pecuk Kecamatan Mijen," Demak, 2016.
- [18] M. Kusyanto, D. Nandang, E. T. Tiningsih, and B. Supriyadi, "Karakteristik Sistem Struktur Ruang Utama Masjid Agung Demak," in *Prosiding Temu Ilmiah IPLBI*, 2016, no. 1, pp. 79–84.
- [19] R. Pasila, M. D. . Sumajouw, and R. . Pandekeke, "Kajian Kapasitas Perkuatan Kolom Beton Bertulang Dengan Tambahan Abu Terbang (Fly Ash) Terhadap Variasi Beban Runtuh Dengan Metode Concrete Jacketing," *Tekno*, vol. 14, no. 65, 2016.
- [20] D. L. Schodek, *Struktur Edisi 2*. Jakarta: Erlangga, 1999.
- [21] A. Asroni, *Kolom Fondasi & Balok T Beton Bertulang*. 2010.
- [22] I. Setiawan, "Analisis Dan Evaluasi Struktur Atas Gedung Pusat Informasi Kehutanan IPB Terhadap Ketahanan Gempa Berdasarkan Peta Gempa 2010," Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2014.