

**PERENCANAAN STRUKTUR ATAP MENARA BABUS SALAM MASJID
ASSUADA - WARINGIN**

Aminullah, M.T.

Dosen/Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik dan Perencanaan/
Universitas Nahdlatul Ulama Kalimantan Selatan

Jl. A. Yani Km.12,500 Banjarmasin Kalimantan Selatan

E-mail: aminullah.ak@gmail.com

RINGKASAN

Menara masjid biasanya merupakan bangunan menjulang tinggi yang dilengkapi pengeras suara untuk azan. Menara klasik, lantai dasarnya berbentuk segi empat, naik ke atas menjadi segi delapan, kemudian tower silinder dengan puncak dengan segi yang terus mengarah bulat dan semakin mengecil. Menara Babussalam berlokasi di dekat pintu Babus Salam, pintu nomer 1 di Masjid Nabawi Madinah. Dibangun pada tahun 1307 M. Model menara ini adalah yang dipilih oleh owner pekerjaan pembangunan menara Masjid As Suada, Waringin Hulu Sungai Utara.

Penelitian ini berfokus pada bagian atap menara yang berbentuk kerucut lancip. Bentuknya yang rumit serta lokasi di ketinggian memerlukan perencanaan dan metode pelaksanaan yang matang untuk menjamin pekerjaan memiliki mutu yang baik, baik dalam hal akurasi desain, maupun kekuatan. Atap beton tanpa rangka balok didekati dengan teori plat beton. Dalam studi ditetapkan nilai yang ditetapkan $f_c' = 17 \text{ MPa}$, dan $f_y = 240 \text{ MPa}$. Dalam perhitungan didapatkan: kemiringan atap dari sumbu tegak sebesar $6,19^\circ$. ketebalan beton 80 mm, tulangan yang digunakan besi polos diameter 8 mm, Jarak antar tulangan sebesar 80 mm.

Dalam pengamatan terdapat kecocokan antar desain, perencanaan struktur, dan pelaksanaan.

Perencanaan Struktur, Menara, pelat beton.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Desain menara yang lazim diterapkan dalam pembangunan atau rehabilitasi sebuah masjid, terutama di Kalimantan Selatan telah berkembang cukup banyak, mengikuti perkembangan desain umum masjid itu sendiri. Akses perjalanan yang lebih mudah ke luar daerah hingga manca negara dalam berbagai kegiatan masyarakat, termasuk haji dan umrah, ditambah lagi dengan akses pencarian data yang luas melalui internet, telah membuat kebutuhan peningkatan dan pilihan desain yang meningkat pula.



Gambar 1. Sisi depan Masjid Nabawi

Masjid As Suada yang berlokasi di Waringin Kabupaten Hulu Sungai Utara telah menyelesaikan konsep desain umum rencana pengembangan masjid, di antara dengan pembangunan menara dengan gaya bangunan meniru menara yang ada di Masjid Nabawi di Madinah.

Perencanaan struktur adalah langkah selanjutnya setelah pembuatan konsep desain yang akan dibuat. Perencanaan struktur memberi petunjuk teknis berupa keterangan bahan yang dipakai, mutu, ukuran, jumlah, dan lain-lain, yang akan mendukung kekuatan kelayakan setiap bentuk masing-masing bagian bangunan sesuai fungsinya.



Gambar 2. Menara Babussalam

Pada desain ini terdapat beberapa kekhasan yang melekat padanya, berupa bentuk, struktur dan metode pengerjaan. Dalam penelitian ini, fokus bagian yang diamati adalah desain dan stuktur bagian atas, yaitu atap dengan bentuk kerucut. Desain ini agak berbeda dibanding bentuk lainnya.

Terdapat empat macam bentuk geometris umum yang membentuk menara ini yaitu balok segi empat paling dasar, prisma segi delapan di tingkatan kedua, silinder di tingkatan ketiga, dan limas segi 16 yang lancip. Selain itu, juga ditambahkan asesoris yang menghiasi setiap peralihan bentuk.

Batasan Masalah

1. Konsep desain telah selesai dan telah disajikan dalam laporan sebelumnya.
2. Dari keseluruhan Menara Babussalam, penelitian fokus pada bagian atap dari Menara Babussalam.
3. Bentuk atap segi 16 disederhanakan menjadi bentuk kerucut (alas lingkaran).
4. Bentuk sloop bagian terbawah atap juga disederhanakan berpola segitiga saja.
5. Bentuk acuan atap diimplementasikan dalam bahan beton bertulang, walaupun sebenarnya acuan asli adalah mungkin dari bahan logam.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Membuat Finalisasi desain atap menara Babus Salam.
2. Pendekatan yang dipakai adalah analisis pelat satu arah, dengan beberapa koreksi untuk bentuk kerucut.
3. Membuat rumusan teknis tentang beton: mutu, campuran, dan ketebalan.

4. Membuat rumusan teknis tentang baja: mutu, dimensi, sambungan panjang penyaluran, jarak penulangan, dan lain-lain.
5. Menjadi petunjuk dalam membuat rencana Metode Pelaksanaan.

STUDI PUSTAKA

Sejarah Menara

Menara masjid biasanya merupakan bangunan menjulang tinggi. Jika pada masa lalu bumbung masjid, menara mercusuar, dan puncak Ka'bah menjadi tempat muazin mengumandangkan azan, kini fungsi yang sama dijalankan oleh bangunan menjulang di masjid yang disebut menara. Kata 'menara' berasal dari bahasa Arab manara yang berarti rumah api.

Menara masjid biasanya merupakan bangunan menjulang tinggi yang dilengkapi pengeras suara untuk azan. Letak menara masjid kebanyakan merupakan tambahan pada bangunan utama masjid. Ada menara yang dibangun menyatu dengan bangunan masjid, tapi banyak pula menara masjid yang letaknya terpisah dari bangunan utama masjid.

Tokoh terkemuka Inggris yang mengkaji arsitektur Islam, Keppel Archibald Cameron Creswell, mengatakan, masjid yang pertama kali dibangun Nabi Muhammad SAW di Madinah (Masjid Quba) tidak memiliki menara. "Pada saat Nabi Muhammad membangun masjid itu, menara belum dikenal. Menara pertama kali berdiri di samping masjid 41 tahun setelah beliau wafat," tulis Creswell dalam Ensiklopedi Tematis Dunia Islam 4: Pemikiran dan Peradaban (2005).

Bentuk Menara

Bentuk-bentuk menara masjid yang ada saat ini menjadi bervariasi. Ada yang berbentuk klasik, variasi, segi empat, menara spiral, dan menara silinder. Pada menara klasik, lantai dasarnya berbentuk segi empat, naik ke atas menjadi segi delapan, kemudian tower silinder dengan puncak sebuah kubah kecil. Menara Masjid Mad Chalif di Kairo yang dibangun pada abad ke-11 Masehi semasa pemerintahan Khalifah Al-Hakim dari Dinasti Fatimiyah. (Antar Nusa)

Di awal perkembangannya, gaya arsitektur menara Masjid Damaskus dan Masjid Nabawi telah menjadi trend-setter. Pola menara kedua masjid itu telah direplikasi dan dicontoh masjid-masjid hingga berbagai penjuru negeri muslim melintasi dataran Arab hingga ke Andalusia.

Desain arsitektur menara masjid pun menjadi beragam. Gaya dan bentuk menara itu biasanya disesuaikan dengan budaya dan kondisi wilayahnya. Secara umum terdapat lima bentuk dan gaya menara mesjid, yakni menara klasik, menara variasi, menara segi empat, menara spiral, dan menara silinder. (Agung S.)

Atap Menara Babussalam

Menara babus Salam berlokasi di dekat pintu nomor 1 Masjid Nabawi bernama Babus Salam. Dibangun pada tahun 1307 oleh Muhammad ibnu Kalavun. Aslinya, menara ini adalah yang paling rendah dari semua tipe menara yang ada di Masjid Nabawi, Madinah. Tipe menara ini adalah bergaya Ottoman. (Editors, Madain Project).

Atap menara berbentuk mendekati kerucut seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 3. Dalam bentuk asli adalah kerucut bersegi banyak, limas segi 16. Bentuk ini jika dilakukan analisis dengan software gambar, maka didapatkan kemiringan kerucut sebesar 6.1 derajat.

Di bagian atas memerlukan perlakuan struktur yang cukup untuk memegang mastika. Di bagian bawah menjadi dudukan bagi atap kerucut itu sendiri, sekaligus penambahan nilai estetika dari peralihan bentuk sili nder di bawahnya, menjadi bentuk kerucut.



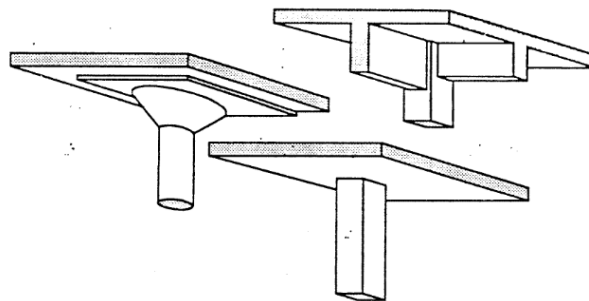
Gambar 3. Atap Menara

Plat Terlentur

Struktur bangunan gedung umumnya tersusun atas komponen plat lantai, balok anak, balok induk, dan kolom, yang umumnya dapat merupakan satu kesatuan monolit atau terangkai seperti halnya pada sistem pracetak.

Plat juga dipakai untuk atap, dinding, dan lantai tangga, jembatan, atau pelabuhan. Petak plat dibatasi oleh balok anak pada kedua sisi panjang dan oleh balok induk pada kedua sisi pendek.

Plat Dua Arah adalah apabila plat didukung sepanjang ke-empat sisinya seperti tersebut di atas, di mana lenturan akan timbul pada dua arah yang saling tegak lurus.



Gambar 4. Plat beton bertulang

Namun, apabila perbandingan sisi panjang terhadap sisi pendek yang saling tegak lurus lebih besar dari 2, plat dapat dianggap hanya bekerja sebagai **Plat Satu Arah** dengan lenturan utama pada arah sisi yang lebih pendek. Atau:

Plat Satu Arah dapat didefinisikan sebagai plat yang didukung pada dua tepi yang berhadapan sedemikian sehingga lenturan timbul hanya dalam satu arah saja, yaitu pada arah yang tegak lurus terhadap arah dukungan tepi.

SKSNI T-15-1991-03 juga mengenal jenis plat lain, yaitu plat yang diberi penulangan baja pada dua arah atau lebih yang tidak menggunakan balok-balok untuk media pelimpahan beban tetapi menumpu langsung pada kolom sebagai komponen struktur penopang. Dalam hal demikian, plat dianggap didukung oleh sistem grid. Terdiri dari balok-balok yang tingginya sama dengan plat dan menyatu menjadi satu kesatuan dengan plat itu sendiri.

Kolom-kolom penyangga memberikan *tekanan pons* yang hendak menembus plat ke atas. Sistem kerja demikian berakibatkan timbulnya tegangan geser cukup besar yang dinamakan *geser pons*, dan apabila plat tidak kuat akan retak atau bahkan pecah tertembus. Untuk menanggulangi tekanan pons tersebut pada umumnya di tempat kolom penumpu plat diberi penebalan berupa drop panel, atau memperbesar ukuran kolom di ujung atas di tempat tumpuan yang biasanya disebut sebagai kapital kolom atau kepala kolom.

Apabila sistem tersebut digunakan untuk struktur dengan bentangan lebih pendek dan beban yang didukung lebih ringan, dapat pula dibuat tanpa menggunakan penebalan dengan drop panel atau kepala kolom, jadi plat betul-betul rata dan didukung langsung oleh kolom, lihat Gambar 4.

Analisis Plat Terlentur Satu Arah

Karena beban yang bekerja pada plat semuanya dilimpahkan menurut arah sisi pendek, maka suatu plat terlentur satu arah yang menerus di atas beberapa perletakan dapat diperlakukan sebagaimana layaknya sebuah balok persagi dengan tingginya setebal plat dan lebarnya adalah satu satuan panjang, umumnya 1 meter.

Apabila diberikan beban merata plat malendut membentuk kelengkungan satu arah, dan oleh karenanya timbul momen lentur pada arah tersebut. Beban merata untuk plat biasanya menggunakan satuan kN/m^2 (kPa), karena diperhitungkan untuk setiap satuan lebar maka dalam perencanaan dan analisis diubah satuannya menjadi beban per satuan panjang (kN/m).

Apabila bentangan dan beban yang bekerja memenuhi kriteria SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.1.3 ayat 3, maka peraturan memperbolehkan menggunakan koefisien momen dan gaya geser standar. Tulangan pokok lentur plat satu arah dipasang pada arah tegak lurus terhadap dukungan.

Karena analisis dan perencanaan dilakukan untuk setiap satuan lebar plat maka jumlah penulangan juga dihitung untuk setiap satuan lebar tersebut, dan merupakan jumlah rata-rata. Dengan demikian, cara menyebut jumlah tulangan baja untuk plat berbeda dengan yang digunakan untuk komponen struktur lainnya.

Standar SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.16.12 menetapkan bahwa untuk **plat lantai** serta **atap struktural** yang hanya menggunakan tulangan pokok **lentur satu arah**, selain penulangan pokok harus dipasang juga tulangan susut dan suhu dengan arah tegak lurus terhadap tulangan pokoknya.

Apabila untuk tulangan susut berlaku **syarat minimum** tulangan baja deformasian (BJTD)

$$\text{Mutu 30 } A_{s \text{ minimum}} = 0,0020 b \cdot h,$$

$$\text{Mutu 40 } A_{s \text{ minimum}} = 0,0018 b \cdot h,$$

dimana b dan h adalah lebar satuan dan tebal plat.

Di samping itu juga berlaku ketentuan bahwa plat struktural dengan tebal tetap, *jumlah luas tulangan baja searah dengan bentangan (tulangan pokok) tidak boleh kurang dari tulangan susut dan suhu yang diperlukan.*

Jarak dari p.k.p tulangan pokok \geq tiga kali tebal plat atau 500 mm,

Jarak tulangan susut dan suhu \leq lima kali tebal atau 500 mm.

Perencanaan Plat Terlentur Satu Arah

Pada saat sekarang, di mana perkembangan teknologi telah meningkat dengan pesat, untuk mendapatkan bahan struktur beton bertulang mutu tinggi bukanlah sesuatu yang sulit seperti pada masa lalu. Dengan menggunakan bahan baja dan beton mutu tinggi akan didapat ukuran atau dimensi komponen struktur beton bertulang yang semakin mengecil. Sebenarnya pengaruh peningkatan kuat atau mutu bahan terhadap defleksi komponen struktur hanya kecil saja, yang berpengaruh besar adalah Ukuran penampang atau dalam hal ini momen inersia penampang. Akan terjadi lendutan lebih besar pada komponen struktur bahan mutu tinggi dibandingkan dengan komponen struktur yang sama tetapi dibuat dari bahan dengan mutu yang lebih rendah, yang pada umumnya luas penampangnya lebih besar sehingga momen inersianya juga besar.

Penentuan tebal plat terlentur satu arah tergantung pada beban atau momen lentur yang bekerja, defleksi yang terjadi, dan kebutuhan kuat geser yang dituntut. Standar SK SNIT-15-1991-03 menentukan kriteria tinggi balok dan plat dikaitkan dengan bentangnya dalam rangka usaha membatasi lendutan besar yang berakibat mengganggu kemampuan

Kelayanan atau kinerja struktur pada beban kerja. Daftar 1 (kutipan dari Tabel 3.2.5.a SK SNI T-15-1991-03) memberikan ketebalan minimum balok dan plat satu arah dikaitkan dengan panjang bentangan. Ketentuan tersebut dapat dipakai untuk komponen struktur yang tidak mendukung atau berhubungan dengan struktur lain yang cenderung akan rusak akibat lendutan. Apabila mendukung atau berhubungan dengan struktur seperti tersebut, lendutan harus dihitung secara analitis. Untuk balok atau plat satu arah dengan tebal kurang dari nilai yang tertera dalam daftar, lendutannya harus dihitung dan ukuran tersebut dapat digunakan apabila lendutan memenuhi syarat. Nilai-nilai dalam Daftar 1 hanya diperuntukkan bagi balok dan plat beton bertulangan satu arah, nonprategangan, berat beton normal ($w_e = 23 \text{ kN/m}^3$) dan baja tulangan BJTD mutu 40. Apabila digunakan mutu tulangan baja yang lain nilai dari daftar harus dikalikan dengan faktor berikut :

$$\left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right)$$

Daftar 1

Tebal minimum balok dan plat satu arah
(kutipan Tabel 3.2.5(a) SK SNI T-15-1991-03)

KOMPONEN STRUKTUR	TEBAL MINIMUM, h			
	DUATUMPUAN	SATUJUNG MENERUS	KEDUAJUNG MENERUS	KANTILEVER
	KOMPONEN TIDAK MENDUKUNG ATAU MENYATU DENGAN PARTISI ATAU KONSTRUKSI LAIN YANG AKAN RUSAK AKIBAT LENDUTAN BESAR			
Plat solid satu arah	$\frac{l}{20}$	$\frac{l}{24}$	$\frac{l}{28}$	$\frac{l}{10}$
Balok atau plat lajur satu arah	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{18,5}$	$\frac{l}{21}$	$\frac{l}{8}$

Untuk struktur beton ringan dengan satuan massa di antara $1500\text{-}2000 \text{ kgf/m}^3$ nilai dari daftar dikalikan dengan faktor berikut :

$$(1,65 - 0,005 W_c).$$

akan tetapi bagaimanapun nilai yang didapat tidak boleh kurang dari 1,09 sedangkan satuan w_e dalam kgf/m^3 . Sebagai contoh, untuk plat satu arah yang terletak pada dukungan sederhana, beton dengan berat normal dan tulangan baja mutu 40, tebal minimum yang diperlukan adalah $1/20 l$ jika dikehendaki menggunakan dimensi tersebut tanpa menghitung lendutan, di mana l adalah panjang bentang plat.

SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.16. 7 memberikan ketentuan tebal selimut beton pelindung tulangan baja untuk plat yang permukaannya tidak terbuka atau berhubungan langsung dengan cuaca luar, atau tidak kontak langsung dengan tanah. Selimut beton tidak boleh kurang dari 20 mm apabila plat, dinding, dan plat beresuk menggunakan batang tulangan D36 atau kurang. Tidak boleh kurang dari 40 mm apabila menggunakan batang tulangan D44 dan D56.

Untuk permukaan plat yang terbuka terhadap cuaca luar atau berhubungan dengan tanah, tebal selimut beton minimum 50 mm apabila menggunakan tulangan D19 sampai dengan D56, dan 40 mm apabila menggunakan tulangan $\phi 16$, kawat W31 atau D31, atau ukuran yang lebih kecil. Apabila plat beton dicor langsung dan permanen berhubungan dengan tanah, selimut beton minimum untuk segala ukuran tulangan baja adalah 70 mm.

Seperti yang telah diuraikan di depan, cara yang dipakai SK SNI T-15-1991-03 untuk mambatasi timbulnya lendutan besar ialah dengan menerapkan syarat tebal minimum. Akan tetapi meskipun plat telah memenuhi syarat tebal minimum, misalnya, masih tetap harus dirancang untuk kuat lentumya. Lendutan plat tidak perlu dihitung ataupun diperiksa secara analitis kecuali apabila plat merupakan struktur pendukung atau berhubungan dengan komponen lain yang akan rusak bila lendutan besar.

Standar SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.1.7 memberikan ketentuan mengenai panjang bentangan untuk perencanaan balok atau plat yang secara integral tidak menyatu dengan dukungannya, sebagai berikut: **panjang bentang = bentang bersih + tebal komponen**

Ketentuan tersebut dapat digunakan sebagai pedoman tetapi nilainya tidak boleh lebih besar dari jarak antar-pusat dukungan. Karena tebal plat belum ditentukan, umumnya pada awal perencanaan digunakan jarak antar-pusat dukungan. Contoh berikut akan memberikan gambaran mengenai bagaimana cara menggunakan ketentuan SK SNI T-15-1991-03 untuk tebal minimum plat satu arah.

METODE PENELITIAN

1. Pelaksanaan dimulai dengan mendapatkan konsep umum desain menara.
2. Melakukan finalisasi desain, khususnya bagian atap.
3. Melakukan studi pustaka perencanaan beton terkait.
4. Melakukan perhitungan struktur atap.

PEMBAHASAN

A. Perencanaan Tulangan

1. Pendekatan bentuk kerucut

Bentuk atap kerucut didekatkan kepada pembahasan plat beton, meskipun bentuk kerucut jauh lebih stabil daripada plat datar. Karenanya nilai yang didapat akan memberikan nilai aman yang lebih. Selain itu, tipikal replika desain yang akan dikerjakan relatif tidak memikul beban kecuali dirinya sendiri.

2. Menentukan tipe plat

Dengan definisi yang diuraikan dalam Teori Plat Terlentur: “apabila perbandingan sisi panjang terhadap sisi pendek yang saling tegak lurus lebih besar dari 2, plat dapat dianggap hanya bekerja sebagai **Plat Satu Arah** dengan lenturan utama pada arah sisi yang lebih pendek” maka tipe dapat ditentukan tipe plat yang akan diterapkan adalah Plat Satu Arah.

3. Mengestimasi mutu baja

Pekerjaan yang sedang diamati adalah pekerjaan non pemerintah sehingga sulit untuk mendapatkan nilai akurat tentang mutu baja. Karena itu dipakai saja nilai mutu dari yang tersedia di pasaran yaitu U24, tegan leleh 2.400 kg/cm^2 , atau $f_y = 240 \text{ MPa}$. (Ir. Rony Ardiansyah, MT, IP-U *Apakah Boleh Ditukar Diameternya?* <https://ronymedia.wordpress.com/2010/04/25/baja-tulangan/>)

4. Menentukan Mutu Beton

Kuat tekan beton terendah yang didapat untuk campuran 1 : 2 : 3 dalam pengujian di Unmul Samarinda adalah sebesar 16,31 MPa hingga 25,19 MPa (Fahriza, 2019). Dengan pendekatan aman, maka diestimasi $f_c' = 17 \text{ MPa}$.

5. Menentukan tebal plat

Ditentukan tebal minimum plat seperti Daftar 1. Dianggap atap kerucut memiliki dua tumpuan yaitu di sloop bawah (Trap 1) dan atas (Trap 6).

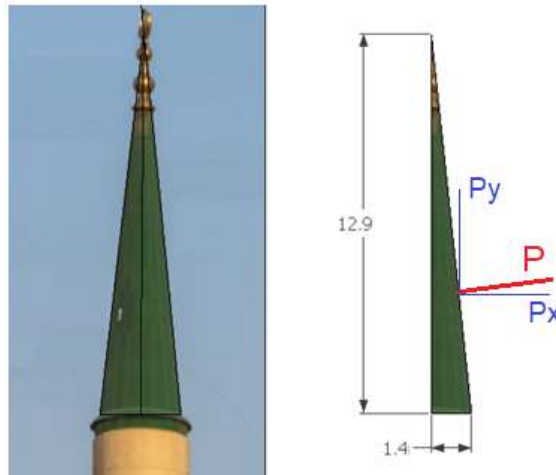
$$h_{min} = \frac{l}{20} \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

Dimana panjang atap dalam Gambar 7 sebesar 387,3 cm

$$\begin{aligned} h_{min} &= \frac{387,3}{20} \left(0,4 + \frac{240 \text{ MPa}}{700} \right) \\ &= 14,39 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dibulatkan tebal plat = 14 cm

Namun ketebalan ini dirasa terlalu besar untuk struktur yang hanya berfungsi sebagai atap berbentuk kerucut dengan kemiringan sangat curam (Gambar 5).



Gambar 5 Kemiringan atap 129 : 14

Dapat dikatan tidak ada beban signifikan yang dipikulnya kecuali berat sendiri.

Dalam perbandingan segitiga, sudut lancip dapat dicari :

$$\begin{aligned} \tan \alpha &= 14/129 = 0.1085 \\ \alpha &= \text{Arc. tan } (0.1085) \\ &= 6,1939^\circ \end{aligned}$$

Dalam keadaan normal atap menahan gaya yang bekerja tegak lurus bentangan plat. Pada Gambar 5 Gaya tegak lurus P diuraikan ke dalam P_y sebagai gaya yang diterapkan mewakili berat sendiri yang dipengaruhi gravitasi. Nilainya adalah:

$$\begin{aligned} P_y &= P \sin \alpha \\ &= P \sin (6,1939) \\ &= 0.10789 P \end{aligned}$$

Dengan demikian berat sendiri dengan kemiringan desain hanya terkena sekitar 10% dari pada nilai pembebanan dalam keadaan normal (tegak lurus).

Karena itu ketebalan desain ditentukan hanya separuh dari ketebalan teoritis.

$$h = 8 \text{ cm}$$

6. Menentukan lebar satuan

Selanjutnya analisis plat untuk setiap lebar 1 meter

7. Menentukan Beban Mati

Setiap 1 meter, beban mati adalah:

$$\begin{aligned} q_{DL} &= h \cdot BJ \text{ Beton} \\ &= 0.08 \text{ m} \cdot 24 \text{ kN/m}^3 \\ &= 1.92 \text{ kN/m}^2 \\ &= 1.92 \text{ kPa} \end{aligned}$$

8. Menentukan beban mati

Setiap 1 meter,

a. Total beban rencana adalah,

$$\begin{aligned} w_u &= 1,2 \cdot w_{DL} + 1,6 \cdot w_{LL} \\ &= 1,2 \cdot (1,92) + 1,6 \cdot (1,25) \\ &= 2,30 + 2 \\ &= 4,3 \text{ kPa} \end{aligned}$$

b. Momen rencana

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{1}{8} \cdot w_u \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{8} \cdot (4,3) \cdot (3,87)^2 \\ &= 8,07 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Menentukan nilai d (tinggi efektif)

$$\begin{aligned} d &= h - \text{selimut} - \phi/2 \\ &= 80 - 20 - 8/2 \\ &= 56 \text{ mm} \end{aligned}$$

d. Menentukan nilai k yang diperlukan (b satuan, tidak berdimensi)

$$\begin{aligned} k &= \frac{M_u}{\phi b d^2} \\ &= \frac{8.070}{0,8 \cdot (1) \cdot (0.056)^2} \\ &= 3216 \text{ kPa} \\ &= 3,216 \text{ MPa} \end{aligned}$$

e. Menentukan nilai rasio penulangan ρ

Untuk nilai k, f_y , dan f_c' di atas maka, tabel yang cocok adalah Tabel A-15:

Dan baris yang mendekati nilai k = 3,216 MPa yang telah didapat dapat diringkas sbb:

ρ	k
0,0119	3,1940
0,0120	3,2177

Dengan interpolasi, maka untuk k = 3,216 MPa akan diperoleh nilai $\rho = 0,011996$

f. Pengecekan terhadap Rasio penulangan maksimal

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0,75 \rho_{balance} = 0,75 \cdot \left[\frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \frac{600}{(600 + f_y)} \right] \\ &= 0,75 \cdot \left[\frac{0,85 \cdot (17) \cdot (0,85)}{(240)} \cdot \frac{600}{(600 + (240))} \right] \\ &= 0,027416 \end{aligned}$$

Berarti nilai $\rho = 0,011996$ yang didapat tidak melebihi nilai maksimal.

TABEL A-15
RASIO PENULANGAN (ρ) vs KOEFISIEN TAHANAN (k)
 ($f'_c = 20$ MPa, $f_y = 300$ MPa, k dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0,0047	1,3514	0,0086	2,3836	0,0125	3,3352	0,0164	4,2059	0,0203	4,9959
0,0048	1,3788	0,0087	2,4090	0,0126	3,3585	0,0165	4,2272	0,0204	5,0151
0,0049	1,4063	0,0088	2,4344	0,0127	3,3818	0,0166	4,2484	0,0205	5,0342
0,0050	1,4336	0,0089	2,4597	0,0128	3,4050	0,0167	4,2695	0,0206	5,0533
0,0051	1,4609	0,0090	2,4849	0,0129	3,4282	0,0168	4,2907	0,0207	5,0724
0,0052	1,4882	0,0091	2,5101	0,0130	3,4513	0,0169	4,3117	0,0208	5,0913
0,0053	1,5154	0,0092	2,5353	0,0131	3,4744	0,0170	4,3327	0,0209	5,1103
0,0054	1,5426	0,0093	2,5604	0,0132	3,4974	0,0171	4,3537	0,0210	5,1291
0,0055	1,5697	0,0094	2,5854	0,0133	3,5204	0,0172	4,3745	0,0211	5,1480
0,0056	1,5967	0,0095	2,6104	0,0134	3,5433	0,0173	4,3954	0,0212	5,1667
0,0057	1,6237	0,0096	2,6353	0,0135	3,5661	0,0174	4,4162	0,0213	5,1855
0,0058	1,6507	0,0097	2,6602	0,0136	3,5889	0,0175	4,4369	0,0214	5,2041
0,0059	1,6776	0,0098	2,6850	0,0137	3,6117	0,0176	4,4576	0,0215	5,2227
0,0060	1,7044	0,0099	2,7098	0,0138	3,6344	0,0177	4,4782	0,0216	5,2413
0,0061	1,7312	0,0100	2,7345	0,0139	3,6570	0,0178	4,4988	0,0217	5,2598
0,0062	1,7579	0,0101	2,7592	0,0140	3,6796	0,0179	4,5193	0,0218	5,2782
0,0063	1,7846	0,0102	2,7838	0,0141	3,7022	0,0180	4,5398	0,0219	5,2966
0,0064	1,8113	0,0103	2,8083	0,0142	3,7246	0,0181	4,5602	0,0220	5,3150
0,0065	1,8378	0,0104	2,8328	0,0143	3,7471	0,0182	4,5806	0,0221	5,3333
0,0066	1,8643	0,0105	2,8573	0,0144	3,7695	0,0183	4,6009	0,0222	5,3515
0,0067	1,8908	0,0106	2,8817	0,0145	3,7918	0,0184	4,6211	0,0223	5,3697
0,0068	1,9172	0,0107	2,9060	0,0146	3,8141	0,0185	4,6413	0,0224	5,3878
0,0069	1,9436	0,0108	2,9303	0,0147	3,8363	0,0186	4,6615	0,0225	5,4059
0,0070	1,9699	0,0109	2,9546	0,0148	3,8584	0,0187	4,6816	0,0226	5,4239
0,0071	1,9962	0,0110	2,9787	0,0149	3,8806	0,0188	4,7016	0,0227	5,4419
0,0072	2,0224	0,0111	3,0029	0,0150	3,9026	0,0189	4,7216	0,0228	5,4598
0,0073	2,0485	0,0112	3,0270	0,0151	3,9246	0,0190	4,7415	0,0229	5,4777
0,0074	2,0746	0,0113	3,0510	0,0152	3,9466	0,0191	4,7614	0,0230	5,4955
0,0075	2,1007	0,0114	3,0750	0,0153	3,9685	0,0192	4,7813	0,0231	5,5133
0,0076	2,1266	0,0115	3,0989	0,0154	3,9903	0,0193	4,8010	0,0232	5,5310
0,0077	2,1526	0,0116	3,1227	0,0155	4,0121	0,0194	4,8208	0,0233	5,5486
0,0078	2,1785	0,0117	3,1466	0,0156	4,0339	0,0195	4,8404	0,0234	5,5662
0,0079	2,2043	0,0118	3,1702	0,0157	4,0556	0,0196	4,8601	0,0235	5,5838
0,0080	2,2301	0,0119	3,1940	0,0158	4,0772	0,0197	4,8796	0,0236	5,6013
0,0081	2,2558	0,0120	3,2177	0,0159	4,0988	0,0198	4,8991	0,0237	5,6187
0,0082	2,2815	0,0121	3,2413	0,0160	4,1203	0,0199	4,9186	0,0238	5,6361
0,0083	2,3071	0,0122	3,2648	0,0161	4,1418	0,0200	4,9380	0,0239	5,6534
0,0084	2,3327	0,0123	3,2883	0,0162	4,1632	0,0201	4,9574	0,0240	5,6707
0,0085	2,3582	0,0124	3,3118	0,0163	4,1846	0,0202	4,9767	0,0241	5,6879

- g. Menentukan nilai luas penampang total dalam 1 meter

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ tot}} &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= (0,011996) \cdot (1000 \text{ mm}) \cdot (56 \text{ mm}) \\
 &= 671,8 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

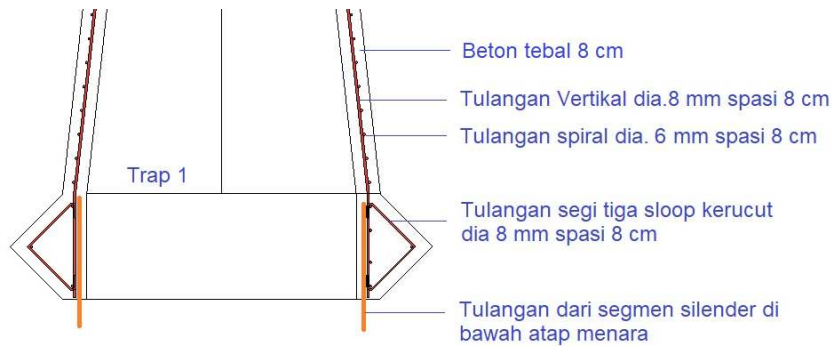
- h. Menentukan nilai jumlah tulangan dalam 1 meter

$$\text{Dengan memilih tulangan } \phi 8, A_s = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 8^2 = 50,24 \text{ mm}^2$$

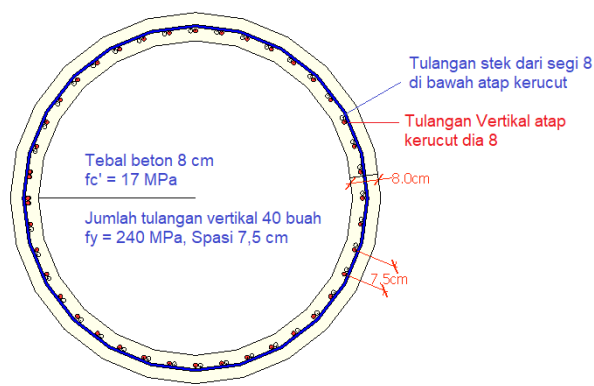
$$\begin{aligned}
 N \text{ tulangan} &= \frac{A_{s \text{ tot}}}{A_s} \\
 &= 671,8 \text{ mm}^2 / 50,24 \text{ mm}^2 \\
 &= 13,37 \text{ bh} \\
 &\approx 13 \text{ buah / m'}
 \end{aligned}$$

- i. Menentukan spasi

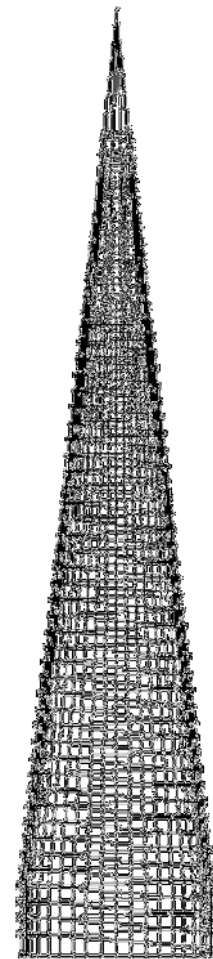
$$\begin{aligned}
 \text{Besarnya spasi} &= \text{panjang sampel penulangan} / \text{jumlah tulangan} \\
 &= 100 \text{ cm} / 13 \\
 &= 7,69 \text{ cm} \\
 &\approx 8 \text{ cm}
 \end{aligned}$$



Gambar 6. Tampak samping



Gambar 7. Tampak bawah



Gambar 8 Tulangan vertical dan Spiral

B. Pengecoran

Bengecoran dengan bahan semen, split 1/1, dan pasir dengan perbandingan

- i) Campuran 1 : 2 : 3 untuk lapisan pertama, dari bekisting hingga tepat ketebalan menutupi tulangan.
- ii) Campuran 1 : 1 : 3 untuk lapisan kedua hingga mencapai ketebalan cor rencana.

Mutu beton yang diharapkan tercapai adalah minimal 17 MPa. Nilai ini adalah nilai aman dari kemungkinan nilai yang sangat mungkin lebih tinggi di lapangan karena adukan beton harus kental agar tidak mudah jatuh ketika diteplok tukang saat melakukan pengecoran vertikal dengan bekisting hanya satu sisi (seperti pekerjaan plesteran). Nilai aman ini diambil dari hasil penelitian jurnal yang mencoba varian campuran beton 1 : 2 : 3 yang dibuat dari beberapa macam bahan.

KESIMPULAN

Dari desain dan pengamatan lapangan ditemukan kecocokan:

1. Kemiringan atap dari sumbu tegak sebesar $6,19^\circ$.
2. Ketebalan beton 80 mm.
3. Tulangan yang digunakan besi polos diameter 8 mm.
4. Jarak antar tulangan sebesar 80 mm.

5. Mutu beton minimal campuran 1 : 2 : 3 yang diperhitungkan adalah 17 MPa, sedang prediksi mutu baja yang tersedia di pasaran setempat 240 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

1. Agung Sasongko, Menara Masjid Damaskus dan Masjid Nabawi Jadi Trend-Setter, Jakarta, Republika, 18 Jul 2019, <https://khazanah.republika.co.id/berita/puu19e313/menara-masjid-damaskus-dan-masjid-nabawi-jadi-trendsetter>
2. Agung Sasongko, Ragam Bentuk Menara Masjid, Republika, 26 Maret 2017 <https://khazanah.republika.co.id/berita/onfcdw313/ragam-bentuk-menara-masjid>
3. Aminullah, *Tinjauan Kekakuan Struktur Menara Bangunan Mesjid Akibat Posisi Penempatan Struktur Menara*, Jurnal Kacapuri FT , Jurnal Keilmuan Teknik Sipil, Volume 3 Nomor 2 Edisi Desember 2020. <https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/article/view/4071>
4. Andarias R. Sirampun, *Pemeriksaan Mutu Dan Ukuran Baja Tulangan Di Pasaran Kota Palu*, Media Litbang Sulteng, 2009
5. Editors of the Madain Project, *Minarets of Masjid al-Nabawi*, https://madainproject.com/minarets_of_masjid_al_nabawi
6. Fachriza Noor Abdi, Heri Sutanto, Agus Al Fithrah, *Kuat Tekan Beton Dengan Rasio Volume 1 : 2 : 3 Menggunakan Agregat Di Kalimantan Timur (Senoni, Long Iram, Batu Besaung, Penajam Dan Sambera) Berdasarkan SNI 032834-2000*, Universitas Mulawarman Samarinda, 2019
7. Istimawan Dipohusodo, *Struktur Beton Bertulang*, Gramedia, Jakarta, 1991
8. Mohamad K., Sugeng T., Surjamanto W., Mohammsd D. R., 2018, *Pemenuhan Kaidah-kaidah Struktur pada Masjid Berkubah yang Dibangun Berbasis Partisipasi Masyarakat*. Temu Ilmiah Ikatan Peneliti Lingkungan Binaan Indonesia (IPLBI) 7, G 075-083 <https://doi.org/10.32315/ti.7.g075>.
9. Redaksi Antar Nusa, *Mari Mengenal Asal mula Menara Masjid*, 23 April 2024 <https://antaranusa.com/antaranusa/Mari-Mengenal-Asal-mula-Menara-Masjid>
10. Rony Ardiansyah, Ir., MT, IP-U *Apakah Boleh Ditukar Diameternya?* <https://ronymedia.wordpress.com/2010/04/25/baja-tulangan/>
11. Wahzudi, Andang Widjaja, *Studi Pengaruh Tebal Pelat Terhadap Lendutan Pelat Menerus Ditinjau Dari Fungsi Bangunan*, UNS