

**Analisis Keruntuhan Struktur Kubah
(Studi Kasus : Masjid Ittifaqul Jamaah Di Makassar)**

***Collapse Analysis Of Dome Structures
(Case Study : Ittifaqul Jamaah Mousque In Makassar)***



**ST. Aminah
D042201019**



**Program Studi Pascasarjana
Departemen Arsitektur
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Gowa
2024**

**Analisis Keruntuhan Struktur Kubah
(Studi Kasus : Masjid Ittifaqul Jamaah Di Makassar)**

**ST. Aminah
D042201019**



**Program Studi Pascasarjana
Departemen Arsitektur
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Gowa
2024**

***Collapse Analysis Of Dome Structures
(Case Study : Ittifaqul Jamaah Mousque In Makassar)***

**ST. Aminah
D042201019**



**Postgraduate Study Program
Department of Architecture
Faculty of Engineering
Hasanuddin University
Gowa
2024**

**Analisis Keruntuhan Struktur Kubah
(Studi Kasus : Masjid Ittifaqul Jamaah Di Makassar)**

Tesis

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

Program Studi Magister Arsitektur

Disusun dan diajukan oleh

**ST. Aminah
D042201019**

**Program Studi Pascasarjana
Departemen Arsitektur
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Gowa
2024**

TESIS

Analisis Keruntuhan Struktur Kubah (Studi Kasus : Masjid Ittifaqul Jamaah Di Makassar)

**ST. Aminah
D042201019**

Telah Dipertahankan Di Hadapan Panitia Ujian Magister Pada Tanggal 28 Bulan
November Tahun 2024 Dan Dinyatakan Telah Memenuhi Syarat Kelulusan

Pada

Program Studi Pascasarjana
Departemen Arsitektur
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Gowa
2024

Mengesahkan

Pembimbing Utama



Dr. Eng.Ir. Nasruddin Junus, ST.,
MT

NIP. 19710316 199702 1 001

Ketua Program Studi
Magister Arsitektur,



Dr. Eng. Hj. Asniawaty, ST., MT
NIP. 19710925 199903 2 001

Pembimbing Pendamping,



Dr. Ir. Hartawan Madeali, ST., MT
NIP. 19641231 199103 1 034

Dekan Fakultas Teknik Universitas
Hasanuddin,



Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT
NIP. 19730926 200012 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul Analisis Keruntuhan Struktur Kubah (studi Kasus : Masjid Ittifaqul Jamaah Di Makassar) adalah benar karya saya dengan arahan dari tim pembimbing (Dr. Eng.Ir. Nasruddin Junus, ST., MT sebagai Pembimbing Utama dan Dr. Ir. Hartawan Madeali, ST., MT sebagai Pembimbing Pendamping). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di scientific.net sebagai artikel dengan judul Study Of Mosque Dome Types That Developed In The City Of Makassar. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 28 November 2024



St. Aminah
D042201019

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu Wata'ala atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga penelitian yang saya lakukan dapat terlaksana dengan sukses dan tesis ini dapat terampungkan atas bimbingan, diskusi dan arahan Dr. Eng.Ir.Nasruddin Junus., ST., MT sebagai pembimbing pertama, Dr.Ir. Hartawan Madeali., MT sebagai pembimbing kedua. Saya mengucapkan berlimpah terima kasih kepada mereka.

Ucapan terima kasih juga saya ucapkan kepada pimpinan Universitas Hasanuddin dan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi saya menempuh program Magister serta para Dosen.

Akhirnya, kepada kedua orang tua tercinta saya mengucapkan limpah terima kasih dan sembah sujud atas doa, pengorbanan dan motivasi mereka selama saya menempuh Pendidikan. Penghargaan yang besar juga saya sampaikan kepada teman-teman dan seluruh keluarga atas motivasi dan dukungan yang tak ternilai.

Penulis menyadari bahwa di dalam penulisan tesis ini, masih terdapat berbagai kekurangan yang tidak terlepas dari kelalaian dan keterbatasan penulis sendiri. Oleh karenanya, penulis sangat mengharapkan saran dan masukan demi perbaikan ke depannya, sehingga laporan tugas akhir ini bermanfaat bagi pembacanya.

28 November 2024

St.aminah

ABSTRAK

ST. Aminah. **Analisis Keruntuhan Struktur Kubah (Studi Kasus : Masjid Ittifaqul Jamaah Di Makassar)** (dibimbing oleh Nasruddin Junus dan Hartawan Madeali).

Latar belakang. Fenomena keruntuhan bangunan dapat terjadi akibat umur bangunan, bencana alam dan kelalaian konstruksi. Hal ini perlu diperhatikan dalam mendesain struktur bangunan untuk memastikan keselamatan penghuni saat terjadi keruntuhan tertentu. Oleh karena itu, penting bagi bangunan untuk mematuhi standar nasional yang berlaku. Kubah Masjid yang runtuh terjadi di Masjid Ittifaqul Jamaah yang berada di Jalan Barukang, Kecamatan Ujung Tanah, Kota Makassar. Insiden ini terjadi pada hari Minggu (26/3/2023) malam sekitar pukul 20.15 Wita. Penelitian ini bertujuan untuk mengungkapkan penyebab keruntuhan struktur kubah Masjid Ittifaqul Jamaah dengan meninjau reaksi Displacement pada Struktur kubah beton dalam arah X dan Y pada Masjid Ittifaqul Jamaah dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000 v21 trial version. Displacement mengacu pada perpindahan atau pergeseran relatif titik-titik dalam struktur akibat beban yang diterima. Analisis displacement bertujuan untuk mengungkapkan respons struktur terhadap beban yang bekerja pada Masjid Ittifaqul Jamaah. Metode penelitian ini yang digunakan adalah modeling dan simulasi dengan cara mengumpulkan data dan mengklasifikasikan sampel kemudian data yang telah didapatkan diolah dengan menggunakan aplikasi SAP2000 v21 trial version untuk menguji stabilitas struktur kubah masjid dengan meninjau reaksi Displacement. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai displacement arah x dan y menghasilkan respons perpindahan yang berbeda pada kedua arah tersebut. Nilai displacement tertinggi tercatat sebesar 3.723 m pada arah x dan 8.988 m pada arah y pada Kubah model A. Sedangkan nilai displacement terendah tercatat sebesar 1.765 m pada arah x dan 1.765 m pada arah y pada Kubah model B.

Kata Kunci : Kubah, Keruntuhan, SAP2000.

ABSTRACT

ST. Aminah. **Analysis of Dome Structure Collapse (Case Study: Ittifaqul Jamaah Mosque in Makassar)** (supervised by Nasruddin Junus and Hartawan Madeali).

Background. The phenomenon of building collapse can occur due to building age, natural disasters and construction negligence. This needs to be considered in designing the building structure to ensure the safety of occupants when a certain collapse occurs. Therefore, it is important for buildings to comply with applicable national standards. The collapsed dome of the Mosque occurred at the Ittifaqul Jamaah Mosque located on Barukang Street, Ujung Tanah Subdistrict, Makassar City. This incident occurred on Sunday (26/3/2023) evening at around 20.15 Wita. This study aims to reveal the cause of the collapse of the dome structure of the Ittifaqul Jamaah Mosque by reviewing the Displacement reaction of the concrete dome structure in the X and Y directions at the Ittifaqul Jamaah Mosque using SAP2000 v21 trial version software. Displacement refers to the relative displacement or shift of points in the structure due to the load received. The displacement analysis aims to reveal the structural response to the loads acting on the Ittifaqul Jamaah Mosque. This research method used is modeling and simulation by collecting data and classifying samples then the data that has been obtained is processed using the SAP2000 v21 trial version application to test the stability of the mosque dome structure by reviewing the Displacement reaction. The results showed that the displacement values in the x and y directions produced different displacement responses in both directions. The highest displacement value was recorded at 3.723 m in the x direction and 8.988 m in the y direction on Dome model A. While the lowest displacement value was recorded at 1.765 m in the x direction and 1.765 m in the y direction on Dome model B.

Keywords: Dome, Collapse, SAP2000.

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA	4
2.1 Pengertian Sistem Struktur Kubah (Dome)	4
2.2 Bentuk Dasar Sistem Struktur Kubah.....	5
2.3 Jenis Dan Material Sistem Struktur Kubah.....	6
2.4 Kelebihan Dan Kekurangan Sistem Struktur Kubah.....	12
2.5 Struktur Lapisan Kubah Masjid	12
2.6 Bahan Penyusun Kubah Beton	14
2.7 Pengertian Beton	15
2.8 Karakteristik Beton	16
2.9 Klasifikasi Kegunaan Beton Berdasarkan Mutu	17
2.10 Kegunaan Beton Menurut Mutu Beton	18
2.11 Mutu Baja Tulangan	19
2.12 Gaya Yang Bekerja Pada Kubah	21
2.13 Jenis Beban Pada Bangunan.....	21
2.14 Kerusakan Bangunan.....	22
2.15 Jenis Kerusakan Pada Bangunan	23
2.16 Penyebab Bangunan Mengalami Kerusakan	24
2.17 Jenis Tekanan Yang Di Timbulkan Dalam Kubah	25
2.18 Pembebanan Struktur Menurut Ppiug 1983	25
2.19 Kombinasi Pembebanan	28
2.20 Analisis Displacement	28
BAB III METODE PENELITIAN.....	29
3.1 Jenis Penelitian	29
3.2 Lokasi Penelitian	31
3.3 Variabel Penelitian	31
3.4 Teknik Dan Alat Pengumpulan Data	31
3.5 Tahapan Pelaksanaan Kegiatan Penelitian	32
3.6 Teknik Analisa Data	32
3.7 Diagram Alir Penelitian.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Hasil Penelitian	37
4.2 Menganalisis Tekanan Yang Terjadi Pada Kubah	39
4.3 Perhitungan Berat Struktur Kubah Beton Secara Manual	40

4.4	Analisis Simulasi Kubah Dengan SAP 2000 V12 Trial Version.....	42
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	50
5.1	Kesimpulan	50
5.2	Saran	50
DAFTAR PUSTAKA		51

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Kondisi Kubah Masjid Ittifaqul Jamaah Yang Roboh	2
Gambar 2. Kondisi Kubah Masjid Ittifaqul Jamaah Dalam Tahap Renovasi	3
Gambar 3. Bentuk Kubah A	5
Gambar 4. Bentuk Kubah B.....	5
Gambar 5. Bentuk Kubah C	6
Gambar 6. Kubah Masjid Berbentuk Oval	6
Gambar 7. Kubah Masjid Berbentuk Bawang	7
Gambar 8. Kubah Masjid Berbentuk Berumbi	7
Gambar 9. Kubah Masjid Berbentuk Biara	8
Gambar 10. Kubah Masjid Berbentuk Payung	8
Gambar 11. Kubah Masjid Berbentuk Geodesik	9
Gambar 12. Kubah Masjid Berbentuk Setengah Lingkaran	9
Gambar 13. Kubah Beton.....	10
Gambar 14. Kubah Stainless	10
Gambar 15. Kubah Enamel.....	11
Gambar 16. Kubah Galvalum.....	11
Gambar 17. Kubah Grc	12
Gambar 18. Bentuk Kurva Tegangan-Regangan Untuk Beton	17
Gambar 19. Bentuk Baja Tulangan	17
Gambar 20. Ilustrasi Kompresi Gaya Pada Kubah Batu Bata	21
Gambar 21. Kubah Dengan Gaya Tekanan	25
Gambar 22. Peta Wilayah Sulawesi Selatan	28
Gambar 23. Lokasi Masjid Ittifaqul Jamaah	28
Gambar 24. Bentuk Struktur Awal Struktur Kubah Masjid Ittifaqul Jamaah.....	31
Gambar 25. Diagram Alir Penelitian	34
Gambar 26. Denah Balok Kubah Masjid	35
Gambar 27. Tampak Kubah Masjid Ittifaqul Jamaah.....	36
Gambar 28. 3d Kubah Masjid Ittifaqul Jamaah	36
Gambar 29. Sampel A (Tebal 6 Cm).....	37
Gambar 30. Sampel B (Tebal 8,5 Cm)	37
Gambar 31. Bentuk Awal Kubah Tanpa Beban.....	38
Gambar 32. Simulasi Kubah Dengan Periode Getar Model A.....	40
Gambar 33. Displacement Kubah Pada Model A.....	41
Gambar 34. Grafik Perbandingan Nilai Displacement Model A.....	42
Gambar 35. Simulasi Kubah Dengan Periode Getar Model B.....	42
Gambar 36. Displacement Kubah Pada Model B.....	43
Gambar 37. Grafik Perbandingan Nilai Displacement Model B.....	44
Gambar 38. Simulasi Kubah Dengan Periode Getar Model C	44
Gambar 39. Displacement Kubah Pada Model C.....	47
Gambar 40. Grafik Perbandingan Nilai Displacement Model C.....	47

Gambar 41.	Grafik Perbandingan Nilai Displacement Dengan 3 Model.....	47
Gambar 42.	Input Awal Sap 2000 V21 Trial Version	51
Gambar 43.	Input Material Sap 2000 V21 Trial Version	52
Gambar 44.	Material Yang Digunakan Sap 2000 V21 Trial Version.....	52
Gambar 45.	Input Material Baja Sap 2000 V21 Trial Version	53
Gambar 46.	Material Baja Yang Digunakan Sap 2000 V21 Trial Version	53
Gambar 47.	Input Balok 50 X 50 Sap 2000 V21 Trial Version	54
Gambar 48.	Input Concrete Reinforcement Sap 2000 V21 Trial Version	54
Gambar 49.	Input Kolom 45 X 45 Sap 2000 V21 Trial Version	55
Gambar 50.	Input Concrete Reinforcement Sap 2000 V21 Trial Version	55
Gambar 51.	Input Plat Kubah	56
Gambar 52.	Awal Untuk Draw Special Joint Sap 2000 V21 Trial Version	56
Gambar 53.	Denah Kubah	57
Gambar 54.	Tampilan 3d Masjid Ittifaqul Jamaah	57
Gambar 55.	Define Load Pattern.....	57
Gambar 56.	Define Load Case.....	58
Gambar 57.	Load Case Data	58
Gambar 58.	Mass Source	59
Gambar 59.	Input Data Mass Source	59
Gambar 60.	Memasukkan Kombinasi Data Pembebanan Sesuai Sni.....	60
Gambar 61.	3d Bangunan Kubah Masjid Ittifaqul Jamaah	60
Gambar 62.	Memasukkan Beban Mati Pada Area Loads	61
Gambar 63.	Memasukkan Beban Hidup Pada Area Loads.....	61
Gambar 64.	Run Analysis	62
Gambar 65.	3d Hasil Setelah Running	62
Gambar 66.	3d Moment 3.3	62
Gambar 67.	Concrete Frame Design Aci 318-19	63
Gambar 68.	Check Of Struktur	63
Gambar 69.	Hasil Summary	64
Gambar 70.	Dudukan Kubah Pasca Runtuh	65
Gambar 71.	Rangka Plat Kubah Pasca Runtuh	66
Gambar 72.	Pembersihan Tahap 2 Kubah Pasca Runtuh.	67

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Kekuatan Beton	23
Tabel 2. Kelas Mutu beton	18
Tabel 3. Mutu baja tulangan	20
Tabel 4. Bentuk baja tulangan	20
Tabel 5. Kategori Rusak Berat Pada Suatu Bangunan.....	23
Tabel 6. Kategori Nilai Kondisi Bangunan Dan Predikatnya.....	24
Tabel 7. Beban Mati Pada Struktur.....	26
Tabel 8. Koefisien Reduksi Beban Hidup	27
Tabel 9. Kombinasi Beban	27
Tabel 10. Data Struktur Kubah Masjid Iitifaqul Jamaah.....	36
Tabel 11. Modal Partisipasi Massa (Sap 2000)	40
Tabel 12. Data Frekuensi Alami Dan Periode Getar Struktur.....	41
Tabel 13. Joint Displacement Struktur	41
Tabel 14. Modal Partisipasi Massa (Sap 2000)	42
Tabel 15. Data Frekuensi Alami Dan Periode Getar Struktur	43
Tabel 16. Joint Displacement Struktur	43
Tabel 17. Modal Partisipasi Massa (Sap 2000)	45
Tabel 18. Data Frekuensi Alami Dan Periode Getar Struktur	45
Tabel 19. <i>Joint Displacement</i> Struktur	46
Tabel 20. Nilai Rata-Rata <i>Displacement</i>	46

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Islam masuk ke Indonesia pada abad ke-7 membawa pengaruh besar terhadap gaya arsitektur bangunan salah satunya pada bangunan tempat beribadah yaitu masjid. Arsitektur Masjid di Indonesia menunjukkan keragaman dan kekayaan bentuk, fungsi, dan makna yang mencerminkan akulturasi budaya lokal, Islam, dan budaya asing. Secara umum, gaya Arsitektur Masjid di Indonesia salah satunya yang paling sering dijumpai adalah Masjid berkubah.

Masjid berkubah adalah masjid yang memiliki atap berbentuk kubah yang menjadi simbol arsitektur Islam sejak dibangunnya Qubbat A-Sakhrah atau Kubah Batu di kompleks Masjid Al-Aqsha di Jerusalem. Menurut Hidjaz (2018), Masjid berkubah baru muncul di Indonesia pada sekitar abad ke-19 sampai 20 Masehi, pandangan masyarakat di seluruh Indonesia sampai saat ini selalu mengartikan bentuk kubah identik dengan Masjid. Contoh masjid berkubah pertama di Indonesia adalah Masjid Sultan di Riau yang dibangun pada masa kekuasaan Raja Abdul Rahman (1833-1843). (kompas:2022).

Masjid berkubah biasanya memiliki bentuk geometris seperti lingkaran, persegi, atau segi delapan, dan dilengkapi dengan menara sebagai tempat adzan. Masjid berkubah juga sering menggunakan ornamen-ornamen seperti kaligrafi, ukiran, mozaik, dan geometri yang menunjukkan keindahan dan kemegahan Islam.

Menurut pakar Arsitektur bangunan, Jeffrey O Hill, Masjid yang menggunakan kubah (*dome*) sebagai atap bangunan jauh lebih baik daripada yang tidak menggunakan bentuk kubah. Dengan dipasangkan kubah pada Masjid akan terlihat tampak lebih luas dan sirkulasi udara menjadi lebih baik. Hal ini akan menambah kenyamanan dalam beribadah didalamnya. (Republika :2016)

Kubah merupakan atap berbentuk setengah bola yang terletak di atas bangunan masjid. Pada umumnya, kubah juga dilengkapi dengan symbol bulan sabit dan bintang pada bagian puncak tengahnya. Kubah memiliki banyak kelebihan jika dibandingkan dengan atap berbentuk lain. Salah satu kelebihan atap berbentuk kubah jika dibandingkan atap berbentuk lain adalah tidak membutuhkan tiang penyangga atau meminimalkan penggunaan tiang penyangga pada bangunan.

Agar bangunan Masjid dapat berfungsi dengan aman dan baik serta kekuatannya dapat menjamin keselamatan manusia yang ada didalamnya, diperlukan perencanaan struktur yang sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Fenomena keruntuhan bangunan tetap terjadi hingga saat ini baik akibat umur bangunan maupun bencana alam tidak bisa dihindari. Alasan kenapa bangunan terjadi roboh itu disebabkan karena kelebihan beban contohnya jika terjadi keretakan seringkali ditumpuk lagi dengan material sehingga terjadi kelebihan beban, bangunan baru dibangun diatas bangunan lama yang dilakukan secara bertahap yang dapat berpengaruh terhadap kualitas struktur bangunan, pemilihan material bangunan, serta bangunan tersebut terjadi korosi pada besi bangunan. Diketahui korosi besi diduga menjadi penyebab robohnya bangunan, salah satu sumbernya yaitu air hujan masuk ke

dalam struktur beton sehingga sambungan-sambungan tiang itu telah mengalami pelapukan.

Di Sulawesi selatan tepatnya berlokasi di jalan Barukang satu, Kelurahan Pattingalloang, Kecamatan Ujung Tanah, kota Makassar, Sulawesi Selatan telah terjadi insiden roboh/runtuhnya kubah Masjid Ittifaqul Jamaah yang kejadiannya terjadi minggu 26 Maret 2023 pada malam hari, dimana pada saat itu sedang melaksanakan shalat tarwih berjamaah tiba-tiba kubah roboh dan memakan korban 14 orang terluka akibat terkena reruntuhan dari atas terlihat pada gambar 1.1 sebelah kanan gambar puing-puing reruntuhan kubah. Dimana diketahui Masjid ini runtuh salah satunya diakibatkan karena umur usia bangunan yang sudah mencapai 40 tahun selain itu kubah ini menurut info dari kepala Dinas PU Makassar yang sudah melakukan pemeriksaan konstruksi ternyata besi yang digunakan kubah menggunakan besi kecil yang berdiameter 10 mm sedangkan tinggi kubah sekitar 4,3 m. Oleh karena saya mengambil penelitian ini untuk mengkaji lebih dalam mengenai karakter masing-masing bentuk kubah, terutama bentuk kubah Masjid Ittifaqul Jamaah untuk mengungkapkan penyebab mengapa kubah Masjid Ittifaqul Jamaah terjadi keruntuhan apa penyebabnya apakah dari bentuk kubahnya, atau ada penyebab lain sehingga terjadi keruntuhan. Dari penelitian ini nanti kedepannya dapat memberikan solusi terkait bentuk kubah yang aman digunakan untuk konstruksi pembangunan masjid kedepan.



Gambar 1. Kondisi kubah Masjid Ittifaqul Jamaah yang roboh



Gambar 2. Kondisi kubah Masjid Ittifaqul Jamaah dalam tahap renovasi pada tahun 2019

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, Rincian rumusan masalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi Penyebab keruntuhan struktur kubah ?
2. Seberapa besar perpindahan atau pergeseran (displacement) yang ditimbulkan kubah Masjid Ittifaqul Jamaah akibat penambahan beban yang diterima ?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang diteliti, maka tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Mengungkapkan penyebab keruntuhan struktur kubah Masjid Ittifaqul Jamaah dengan meninjau reaksi perletakan, lendutan/displacement, gaya-gaya dalam rasio serta tegangan.
2. Menganalisis displacement pada struktur kubah beton dalam arah x dan y.

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Dengan adanya penelitian ini dapat tambahan ilmu dan pembelajaran perihal tentang mendapatkan bentuk struktur kubah yang kokoh dan aman digunakan.
2. Sebagai bahan referensi bagi perencana dalam merencanakan struktur bangunan kedepannya.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Sistem Struktur Kubah (Dome)

Menurut J. Heyman, (1995) Kubah merupakan cangkang tipis sebagai cangkang, dengan ketebalan t , 'yang $R/t > 20$ dengan R adalah jari-jari kelengkungan minimum'. Ketebalan cangkang ini dapat berbeda-beda di seluruh permukaannya, misalnya dapat ditingkatkan, jika memungkinkan, di beberapa area untuk mencegah retak.

Struktur kubah (*dome*) adalah struktur *hemispherical* yang berkembang dari lengkungan. Kubah adalah salah satu bentuk yang paling efisien untuk menutupi daerah yang luas, karena dapat membungkus jumlah maksimum ruang dengan luas permukaan minimum.

Bentuk kubah dimiliki oleh hampir semua kebudayaan. Bentuk kubah itu sendiri selalu berubah dari masa ke masa. Tidak diketahui dengan pasti sejak kapan bentuk kubah ditemukan. Sejak 6000 tahun yang lalu konon peradaban pertama Mesopotamia yang mengenal dan menggunakan kubah. Pada abad ke-14 SM, di Mycenaean Greeks sudah ditemukan bangunan makam berbentuk kubah (*tholos tombs*). Akan tetapi, ada juga yang menyatakan bahwa kubah mulai muncul pada masa Imperium Romawi, sekitar tahun 100 M. Salah satu buktinya adalah bangunan *pantheon* (kuil) di kota Roma yang dibangun Raja Hadria pada 118 M - 128 M. Penggunaan kubah tercatat mulai berkembang pesat di periode awal masa Kristen.

Pada abad ke 60 SM Penggunaan atap kubah berkembang pesat di seluruh dunia. Hal ini dapat ditemukan di daerah Susiana-Iran, di situs kuno Chogha mish yang diperkirakan merupakan peninggalan tahun 6800 sampai 3000 SM ditemukan struktur kubah yang telah dibangun menggunakan batu bata dan dilapisi dengan lumpur. Bangunan yang serupa juga dapat ditemukan di daerah Mesopotamia pada sisa-sisa kebudayaan Halaf dan Ubaid dengan perkiraan umur 2500 SM. Di India, Arsitektur lengkung lebih mudah ditemukan dengan berbagai macam bentuk, dari bentuk *corbel dome*, *union dome*, *oval dome*, dan *polygonal dome* dan umumnya digunakan sebagai kuil diperkirakan berumur lebih dari 520.000.

Kubah, yang terdiri atas jaring-jaring batang bersendi tak teratur pertama kali diperkenalkan pada tahun 1863 di Berlin oleh Schwedler dengan bentang 48 m atau setara dengan 132 kaki. Oleh sebab itu dinamakan pertama kali adalah Kubah Schwedler. Struktur cangkang kubah baru lainnya adalah dengan menggunakan batang-batang yang diletakkan pada sebuah kurva yang dibuat dari garis melintang dan membujur dari suatu permukaan putar. Mayoritas struktur kubah besar di dunia menggunakan cara tersebut (Schodeck, 1998).

Kubah adalah salah satu elemen struktural yang berfungsi sebagai atap bangunan yang memiliki rongga dan berbentuk menyerupai bola terbelah atau separuh bola. Ada juga yang berbentuk seperti kerucut dengan permukaan yang cembung atau melengkung keluar. Selain itu terdapat juga yang berbentuk piring karena menggunakan konsep rancangan puncaknya yang rendah dengan dasar yang besar seperti piring.

Serta ada juga yang berbentuk seperti bawang dengan konsep rancang menyerupai bawang. Biasanya kubah akan diletakkan ditempat tertinggi diatas bangunan sebagai atap. Ia diletakkan di atas rangka bangunan petak dengan menggunakan singgah kubah (*pendentive*). Seiring berkembangnya teknologi Arsitektur, maka kubah pun muncul sebagai penutup bangunan Masjid. Kubah masjid yang paling awal ditemukan adalah di empat tempat tinggal kecil yang terbuat dari gading Mammoth dan tulang, ditemukan oleh seorang petani di Mezhirich, Ukraina, pada tahun 1965 ketika ia menggali di ruang bawah tanah tanah. Dan perkiraan para arkeologis, bangunan kubah itu berusia dari 19280 – 11700 SM.

2.2 Bentuk Dasar Sistem Struktur Kubah

1. Pertama yang digunakan dalam sistem struktur kubah adalah bentukan yang permukaannya berasal dari kurva yang diputar terhadap satu sumbu.



Gambar 3. Bentuk kubah A
(Sumber : schodek, structure, 1999 hal. 451)

2. Bentuk yang permukaannya translasional, yang dibentuk dengan menggeserkan kurva bidang di atas kurva bidang lainnya (misalnya permukaan bola eliptik dan silindris).



Gambar 4. Bentuk kubah B
(Sumber : schodek, structure, 1999 hal. 451)

3. Bentuk yang permukaannya dibentuk untuk menggeserkan dua ujung segmen garis pada dua kurva bidang (misalnya permukaan bentuk hiperbolik paraboloid

dan kinoid). Terakhir, bentuk-bentuk lain yang merupakan kombinasi dari yang telah disebutkan diatas.



Gambar 5. Bentuk Kubah C
(Sumber: schodek, structure, 1999 hal. 451)

2.3 Jenis dan Material Sistem Struktur kubah

2.3.1 Jenis- jenis bentuk kubah

1. Kubah masjid berbentuk oval

Kubah berbentuk oval terlihat seperti telur raksasa yang di belah menjadi dua secara horizontal sehingga bentuknya menjadi lonjong. Kubah berbentuk oval banyak dijumpai pada bangunan-bangunan kuno di masa Barok Rococo.



Gambar 6. Kubah Masjid berbentuk oval

2. Kubah masjid berbentuk bawang

Desain kubah bawang memang memiliki bentuk seperti bawang, yaitu melengkung di bagian atas dan bawah kubah kemudian bagian atas kubah terlihat meruncing. Bagian bawah kubah juga terlihat lebih kecil seperti pangkal bawang. Hampir semua bangunan masjid di Indonesia mengadopsi desain kubah yang satu ini. Sementara itu, di luar negeri penggunaan kubah bawang ini lebih banyak dijumpai di gereja-gereja Ortodox seperti gereja-gereja Ortodox di Negara Rusia.



Gambar 7. Kubah Masjid berbentuk bawang

3. Kubah masjid berbentuk berumbi

Desain kubah berumbi memiliki bentuk yang sederhana. Bentuknya sangat mirip dengan bentuk belahan Bumi atau separuh Bumi; hanya saja pada bagian bawahnya sedikit memanjang serta pada bagian ujungnya dibuat meruncing seperti bentuk tunas umbi yang sedang tumbuh. Contoh bentuk kubah berumbi yaitu kubah pada bangunan Taj Mahal di India. Bentuk kubah yang serupa juga banyak dijumpai di sebagian besar bangunan masjid di Mesir.



Gambar 8. Kubah Masjid berbentuk berumbi

4. Kubah masjid berbentuk biara

Desain kubah Biara mungkin tidak terlihat seperti bentuk kubah pada umumnya jika dilihat dari luar, akan tetapi jenis kubah ini akan terlihat layaknya sebuah kubah jika dilihat dari bawah kubah. Bentuk dasar dari Kubah Biara ini adalah persegi. Kubah ini memiliki rangka sudut dan permukaan kubah berupa bidang lengkung. Kubah Biara tidak hanya dipasang pada bagian atap bangunan utama, melainkan juga sering dijadikan sebagai desain ceiling pada bangunan berbentuk lorong. Sesuai dengan namanya, Kubah Biara diambil dari sejarah di mana bentuk Kubah

Biara ini banyak dijumpai pada bangunan-bangunan biara kuno, khususnya bangunan-bangunan masa Renaissance.



Gambar 9. Kubah Masjid berbentuk biara

5. Kubah masjid berbentuk payung

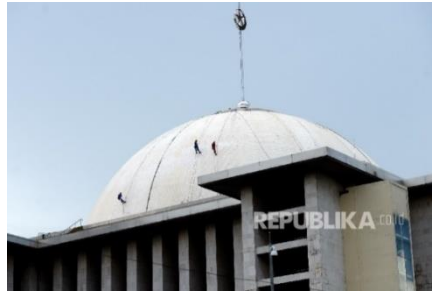
Desain kubah payung terlihat sangat cantik dan bernilai seni tinggi. Dilihat dari bentuknya, kubah payung mempunyai lembaran-lembaran berbentuk lingkaran dan lengkungan yang membentuk kurva layaknya sebuah payung. Bangunan masjid yang dilengkapi dengan hiasan kubah payung ini terlihat begitu elegan dan yang pasti unik.



Gambar 10. Kubah Masjid berbentuk payung

6. Kubah masjid berbentuk geodesik

Desain kubah geodesik tergolong sangat unik karena bentuknya tak sepenuhnya bulat halus, melainkan terdiri dari banyak bilah datar yang menyatu hingga berbentuk polihedral. Kubah semacam ini seringkali diaplikasikan untuk bangunan monumen. Cukup banyak juga masjid yang memiliki bentuk kubah yang satu ini.



Gambar 11. Kubah Masjid berbentuk geodesik

7. Kubah masjid berbentuk setengah lingkaran
Desain kubah ini memiliki bentuk setengah lingkaran dan kubah dengan bentuk seperti ini pertama kali ditemukan di Assyria. Desain kubah ini lalu dikembangkan lagi hingga memiliki pola standard oleh para arsitek asli Roma. Dan tahukah Anda, kubah setengah lingkaran ini pertama kali dibuat oleh seorang ahli Matematika asal Yunani.



Gambar 12. Kubah Masjid berbentuk setengah lingkaran

2.3.2 Kubah Masjid berdasarkan Material

Ada beberapa macam bahan yang dapat digunakan untuk membangun sistem struktur kubah (dome) yaitu material yang dapat dilengkungkan seperti, batu atau bata, beton, besi atau baja, kaca, dan *ethyl tetra fluoro ethylene* (ETFE). Namun diantara berbagai macam tersebut, bahan yang paling sering digunakan karena paling mudah, awet, dan kuat dalam membangun struktur kubah adalah beton bertulang.

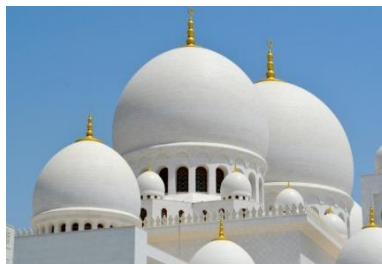
1. Kubah beton
Kubah beton adalah kubah yang bahannya dibuat dari campuran semen coral dan pasir, yang disisipi besi esser sebagai tulang-tulanganya, diaman ketebalan konsentrat cornya bisa dibuat variasi tergantung dari besar kecilnya kubah, Tapi

umunya yang sering dipakai adalah antara 5 cm sampai 10 cm. Sedangkan untuk tulangan bisa dibuat dengan single frame yaitu hanya dengan satu sisipan saja ataupun bisa juga dibuat dengan double frame yaitu dengan dua sisipan yang bertumpuk.

Kelebihan : kuat ,tahan lama dan kelihatan Megah

Kekurangan :

- a. Beban kubah beton yang terlalu berat sehingga dibutuhkan pilar pondasi yang sangat kuat
- b. Tidak terjamin dari kebocoran, terjadi disebabkan adanya keretakan dibadan kubah
- c. Pengecatan tiap tahun
- d. Permanent / monoton (tidak bisa diubah atau diganti gaya motifnya)
- e. Butuh biaya yang mahal



Gambar 13. Kubah beton

2. Kubah Stainless

Kubah ini merupakan kubah titanium dengan berbahan dasar campuran besi dan kromium yang berguna mencegah korosi. Kubah ini memiliki ketahanan yang baik, ringan dan anti karat. Kubah ini memiliki daya tarik tersendiri karena bahannya yang mengkilat. Kubah ini sangat cocok untuk masjid atau mushola dengan bangunan kecil.



Gambar 14. Kubah Stainless

3. Kubah Enamel

Kubah yang menggunakan bahan metal seperti halnya stainless. Kubah ini terlihat kokoh dan berbobot berat, namun sebenarnya kubah ini ringan dan memiliki warna yang terlihat lebih tajam. Secara kekuatan pun kubah ini melebihi kubah stainless maupun galvalum, bisa dikatakan kubah masjid enamel sendiri adalah kubah berbahan terbaik. Namun untuk harganya tentu lebih tinggi jika dibanding bahan lainnya.



Gambar 15. Kubah Enamel

4. Kubah Galvalum

Kubah Masjid Bahan galvalum adalah salah satu jenis kubah yang terbuat dari kombinasi dari baja ringan yang dibentuk dari Zincalume, Silikon, Alumunium, dan Seng dengan komposisi tertentu. Kombinasi ini membuat galvalum lebih ringan ketimbang menggunakan GRC, lebih praktis digunakan diberbagai masjid. Walaupun daya tahannya dibawah dari GRC, kubah ini tetap kuat dalam menahan bencana alam, maupun menahan panas. Tanpa terjadi perubahan pada konturnya. Selain itu kubah ini juga tahan terhadap korosi dan karatan, bahkan material galvalum sudah banyak menggantikan atap bangunan dengan bahan seng.



Gambar 16. Kubah Galvalum

5. Kubah GRC

Kubah Masjid GRC (*Glassfiber Reinforced Concrete*) adalah kubah yang terbuat dari campuran semen, serat kaca, pasir dan air. Kubah GRC memang banyak mengakui sangat kuat dan kokoh. Bahan bangunan masjid ini mempunyai daya tahan yang kuat dari api dan air. Namun, membangun kubah masjid dari bahan beton atau GRC, membutuhkan biaya yang sangat kecil, BESAR. Perancangan konstruksipun yang tidak mudah. Ketika membangun kubah masjid dengan bahan GRC, otomatis membutuhkan pondasi yang extra kuat. Jika terjadi sebuah bencana seperti gempa, resiko nya akan runtuh dan retak. Satulagi jika ada kebocoran ketika hujan deras, akan sulit ditambah dengan seperti semula.



Gambar 17. kubah GRC

2.4 Kelebihan dan Kekurangan Sistem Struktur Kubah

Kelebihan yang dimiliki dari sistem struktur kubah atau *dome* ini adalah strukturnya kuat untuk menahan gempa, dengan bentuk yang menjadi struktur itu sendiri. Selain bentuknya menjadi struktur, bentuk tersebut juga memiliki nilai plus dalam segi estetika karena berbentuk setengah lingkaran. Beban yang bekerja pada struktur atap juga relatif kecil dan ekonomis.

Kekurangan dari sistem struktur kubah adalah bentuknya yang tidak fleksibel (tidak memiliki bentuk lain selain bentuk setengah lingkaran), serta diperlukannya keahlian khusus pekerja bangunan untuk dapat menciptakan bentuk kubah yang sempurna dengan teliti dan presisi. Dinding yang tidak vertikal dan tanpa sudut juga bisa menyebabkan masalah utilitas ruang.

2.5 Struktur Lapisan Kubah Masjid

Adapun sistem struktur atau kerangka kubah adalah sebagai berikut:

a. Mahkota Kubah

Fungsi utama dari mahkota kubah adalah untuk memberikan penampilan yang menarik dan memperindah kubah masjid. Mahkota kubah memberikan sentuhan akhir yang mengesankan pada bagian puncak kubah dan memberikan kesan

elegan dan anggun. Mahkota kubah juga menjadi salah satu elemen yang membedakan desain kubah masjid satu dengan yang lainnya, menampilkan karakteristik dan identitas unik dari bangunan tersebut.

b. Rangka Utama

Ukuran rangka utama pada kubah masjid dapat bervariasi tergantung pada desain dan dimensi kubah yang akan dibangun. Rangka utama harus dirancang sedemikian rupa sehingga dapat menahan beban kubah dan memberikan stabilitas struktural yang diperlukan.

Dalam menentukan ukuran rangka utama kubah masjid, beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan antara lain:

- **Lebar Kubah:** Ukuran rangka utama harus disesuaikan dengan lebar kubah yang diinginkan. Lebar kubah akan mempengaruhi jumlah dan jenis elemen struktural yang diperlukan dalam rangka utama.
- **Tinggi Kubah:** Tinggi kubah juga memainkan peran penting dalam menentukan ukuran rangka utama. Semakin tinggi kubah, semakin kuat rangka utama yang diperlukan untuk menahan beban vertikal yang dihasilkan.
- **Bentuk dan Desain Kubah:** Bentuk dan desain kubah juga akan mempengaruhi ukuran rangka utama. Kubah dengan desain yang rumit atau bentuk yang tidak biasa mungkin memerlukan rangka utama yang lebih kompleks atau lebih kuat.
- **Material Konstruksi:** Material yang digunakan untuk rangka utama, seperti beton bertulang atau baja, juga akan mempengaruhi ukurannya. Material dengan kekuatan tertentu akan mempengaruhi dimensi dan penempatan elemen struktural dalam rangka utama.

c. Ring Kubah

Ring pada kubah masjid merujuk pada cincin penahan yang terletak di sekitar bagian bawah kubah. Ring berperan penting dalam mendukung kubah dan menjaga kestabilan serta kekuatan strukturalnya.

Cincin penahan atau ring pada kubah masjid biasanya terbuat dari material yang kuat seperti beton bertulang, baja, atau logam lainnya. Ring ini ditempatkan di sekitar kubah pada tingkat tertentu, biasanya di bagian bawah kubah, untuk memberikan dukungan dan memperkuat struktur kubah.

Fungsi utama dari ring pada kubah masjid adalah:

- **Menopang Lapisan Penutup:** Ring membantu menopang lapisan penutup kubah, seperti tegel, mozaik, atau material lain yang digunakan sebagai penutup kubah. Ring ini memungkinkan lapisan penutup kubah untuk ditempatkan dengan baik dan terikat dengan kuat pada struktur kubah.
- **Meningkatkan Kestabilan:** Ring berperan dalam menjaga kestabilan kubah dengan menghubungkan elemen-elemen struktural lainnya,

seperti rangka penopang, dengan kubah. Ring membantu mendistribusikan beban secara merata ke rangka utama dan tumpuan, sehingga memberikan kestabilan struktural yang diperlukan.

- Meningkatkan Kekuatan Struktural: Dengan kehadiran ring, kekuatan struktural kubah masjid dapat ditingkatkan. Ring membantu menguatkan koneksi antara elemen-elemen struktural, seperti kolom, busur, dan rangka penopang, sehingga meningkatkan kekuatan dan daya tahan kubah terhadap beban yang diberikan.

d. Rangka Plafon

Rangka plafon pada kubah masjid biasanya terdiri dari rangkaian bingkai atau struktur penopang yang dipasang di bagian dalam kubah. Rangka plafon ini dapat terbuat dari bahan seperti kayu, logam, atau baja. Bahan yang digunakan tergantung pada kebutuhan dan preferensi arsitek serta perancang masjid.

Fungsi dan peran rangka plafon pada kubah masjid adalah sebagai berikut:

e. Waterproofing

Waterproofing bertujuan untuk menjaga keawetan dan kekokohan kubah masjid serta melindungi interior masjid dari kerusakan yang disebabkan oleh kelembapan.

Dalam konteks kubah masjid, waterproofing melibatkan penggunaan bahan atau lapisan yang tahan air dan metode aplikasi yang tepat untuk melindungi kubah dari kebocoran air. Beberapa langkah umum dalam proses waterproofing kubah masjid meliputi:

- Persiapan Permukaan: Permukaan kubah harus dipersiapkan dengan baik sebelum penerapan lapisan waterproofing. Ini melibatkan pembersihan, penghilangan kerak, dan perbaikan kerusakan pada permukaan kubah.
- Penerapan Lapisan Waterproofing: Setelah permukaan kubah siap, lapisan waterproofing diterapkan. Ada berbagai jenis lapisan waterproofing yang dapat digunakan, seperti membran waterproofing, pelapisan polimer, atau bahan tahan air khusus lainnya. Lapisan ini membentuk penghalang yang mencegah air masuk ke dalam struktur kubah.
- Pemasangan Drainase: Selain lapisan waterproofing, sistem drainase yang efektif juga perlu dipertimbangkan. Sistem drainase ini dirancang untuk mengalirkan air hujan atau kelembapan yang terkumpul di permukaan kubah keluar dari struktur, sehingga mencegah penumpukan air yang dapat menyebabkan kerusakan.

2.6 Bahan penyusun kubah Beton

Bahan baku atau material yang digunakan untuk membuat kubah adalah beton . Beton memiliki bentuk yang dapat padat, Kuat dan solid. Berikut adalah bahan yang

dipakai untuk membuat kubah beton, yaitu

1. Semen

Semen berasal dari kata “*caementum*” yang artinya tersebut merujuk pada proses pengerasan material semen sehingga berfungsi sebagai perekat yang bisa merekatkan bahan material lain seperti batu bata dan batu koral sehingga membentuk sebuah bangunan. Sedangkan secara umum semen adalah bahan perekat yang sifatnya mampu mengikat bahan padat yang menjadi satu kesatuan yang kuat (Bonardo Pangaribua, 2013). Jenis semen yang digunakan adalah semen portland di Indonesia (PUBI 1982) berdasarkan standar ASTM, dibagi menjadi lima macam.

- a. Tipe I, untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
- b. Tipe II, untuk penggunaan yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- c. Tipe III, untuk penggunaan yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
- d. Tipe IV, untuk penggunaan yang menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
- e. Tipe V, untuk penggunaan dengan persyaratan ketahanan terhadap sulfat yang tinggi.

Beton kinerja tinggi dapat diproduksi dengan baik menggunakan semen tipe I, n, dan III (Shah, 1994).

2. Air

Air digunakan dalam pembuatan kubah beton tidak boleh mengandung minyak, asam alkali, garam, zat organik dan bahan-bahan lain yang bersifat merusak baja tulangan dan beton itu sendiri. Dalam hal ini sebaiknya digunakan air bersih yang dapat diminum (Istimawan, 1994)

3. Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,00 mm (SNI 03–2847–2002)

2.7 Pengertian Beton

Mulyono (2006) mengungkapkan bahwa beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik, agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah. Sedang Sagel dkk. (1994) menguraikan bahwa beton adalah suatu komposit dari bahan batuan yang direkatkan oleh bahan ikat. Sifat beton dipengaruhi oleh bahan pembentuknya serta cara pengerjaannya. Semen mempengaruhi kecepatan pengerasan beton. Selanjutnya kadar lumpur, kebersihan, dan gradasi agregat mempengaruhi kekuatan pengerjaan yang mencakup cara penuangan, pemadatan, dan perawatan, yang pada akhirnya mempengaruhi kekuatan beton. Sifat-sifat beton pada umumnya dipengaruhi oleh kualitas bahan, cara pengerjaan, dan cara perawatannya. Karakteristik semen mempengaruhi kualitas beton dan kecepatan pengerasannya. Gradasi agregat halus mempengaruhi

Beton adalah bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), air dan semen portland atau bahan pengikat hidrolis lain yang sejenis, dengan atau tanpa bahan tambahan lain. Campuran dari pada agregat halus, air dan semen saja disebut ADUKAN (Mortar) (PUBI,1982). Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan tertentu untuk mendapatkan tanggap suatu penampang yang berdsarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja. Kelebihan beton adalah memiliki kuat tekan yang tinggi, biaya produksi murah, beton mudah diangkut maupun dicetak, serta biaya untuk perawatan rendah. Namun beton mempunyai beberapa kelemahan yaitu kuat tarik yang rendah dan dipengaruhi oleh faktor internal maupun eksternal yang dapat menimbulkan kerusakan, antara lain (Nyoman Parka,2000)

1. Penyusutan, apabila beton dibiarkan pada udara terbuka maka sebagian air akan menguap sehingga setelah kering volumenya akan menyusut dan menyebabkan keretakan yang sangat merugikan,
2. Perubahan volume oleh perubahan sifat thermal antara agregat dan pasta semen,
3. Reaksi alkali-silika, merupakan reaksi antara kandungan silika aktif dalam agregat dan alkali dalam semen, reaksi ini akan menimbulkan pemuaian yang dapat mengakibatkan retakan atau pecahnya pasta semen,
4. Tidak kedap (permeable) beton,
5. Serangan zat-zat kimia yang merusak beton seperti sulfat, klorida, asam, karbon dioksida dan soda,
6. Proses karbonisasi yaitu bersenyawanya gas karbondioksida di udara dengan kapur pada beton berakibat turunnya ph beton dan mendorong terjadinya korosi.

2.8 Karakteristik beton

1. Memiliki tegangan hancur tekan tinggi
2. Memiliki tegangan hancur tarik rendah
3. Beton tidak dapat digunakan pada elemen konstruksi yang memikul momen lengkung.
4. Beton sangat lemah menerima gaya tarik.
5. Beton hampir tidak memerlukan perawatan dan masa konstruksinya 50 tahun
6. Beton adalah bahan bangunan yang memiliki bobot sangat berat

a. Modulus elastisitas

Menurut BSN, (2019), nilai modulus elastisitas beton (E_c) ditentukan sebagai berikut:

dimana:

$$E_c = W_c^{1,5} \cdot 0,043 \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots(2-1)$$

- E_c = modulus elastisitas beton
 W_c = berat volume beton (kgf/m³)
 f'_c = kuat tekan puncak beton (N/mm²)

b. Hubungan tegangan-regangan

Mander, et al., (1989), mengusulkan hubungan teganga regangan parametrik beton terdiri dari dua bagian, yaitu bagian lengkung (curved) dan bagian lurus (linear), seperti yang diperlihatkan pada Gambar

Persamaan untuk bagian lengkung ($\varepsilon_c \leq 2\varepsilon'_c$):

$$f_c = \frac{f'_c x r}{r - 1 + x^r} \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

dengan:

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon'_c} \quad \dots\dots\dots (2-3)$$

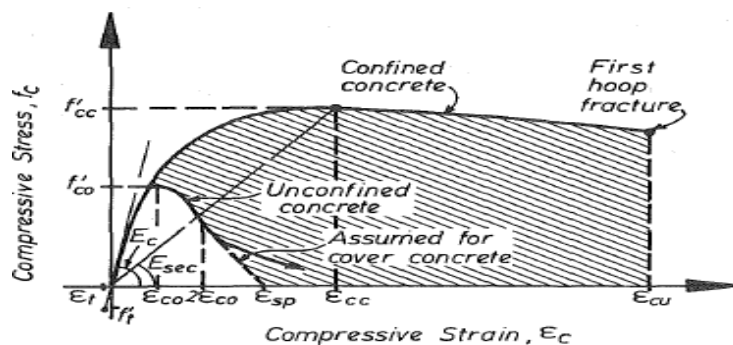
$$r = \frac{E_c}{E_c - \left(\frac{f'_c}{\varepsilon_c}\right)} \quad \dots\dots\dots (2-4)$$

Persamaan untuk bagian lurus ($2\varepsilon'_c < \varepsilon_c \leq \varepsilon_u$):

$$f_c = \left(\frac{2 f'_c r}{r - 1 + 2r}\right) \left(\frac{\varepsilon_u - \varepsilon_c}{\varepsilon_u - 2\varepsilon'_c}\right) \quad \dots\dots\dots (2-5)$$

dimana:

- f_c = tegangan beton
- ε_c = regangan beton
- ε'_c = regangan beton saat kuat tekan puncak (f'_c)
- ε_u = regangan ultimit beton



Gambar 18. Bentuk kurva tegangan-regangan untuk beton

Sumber : (Mander. et al, 1989)

2.9 Klasifikasi Kegunaan Beton berdasarkan mutu

Menurut SNI 03-2847-2002 klasifikasi kegunaan beton berdasarkan mutu terdiri dari tiga bagian yaitu :

1. Beton non struktural adalah pekerjaan pengecoran beton yang tidak mengandung secara langsung unsur struktural antara lain besi sebagai bahan penulangan cor beton. Mutu beton non struktural antara lain : K-100, K-125, K-150, K-175, dan K-200.
2. Beton struktural adalah jenis beton yang mengandung unsur penulangan besi dalam adukan corannya. Mutu beton struktural antara lain : K225, K-250, K-275, dan K300.
3. Beton prategang adalah perpaduan antara beton dan baja, beton merupakan materi yang memiliki daya kekuatan tekan yang tinggi tetapi kekuatan tariknya rendah sedangkan baja memiliki kekuatan tarik yang sangat tinggi. Mutu beton prategang antara lain : K-325, K-350, K-375, K-400, dan K-500.

Tabel 1. Kekuatan beton

Mutu Beton	Kuat Tekan	
	Kg/cm ²	Mpa
K-225	225	18
K-250	250	20
K-275	275	22
K-300	300	24
K-350	350	28
K-400	400	32
K-450	450	36
K-500	500	40

Sumber : (SNI 03-2847-2002)

2.10 Kegunaan beton menurut mutu beton

Menurut SNI 03-2847-2002 kegunaan beton berdasarkan mutu beton yaitu

1. K-500 biasanya digunakan untuk beton prategang.
2. K-450 biasanya digunakan untuk rigit, jalan kelas I dan jalan tol.
3. K-350 biasanya digunakan untuk lantai dasar bangunan pabrik.
4. K-300 biasanya digunakan untuk bangunan ruko bertingkat 3-5 lantai
5. K-250 dan K-225 biasanya digunakan untuk konstruksi bangunan bertingkat 2 lantai.
6. K-175 untuk konstruksi bangunan ringan.

Tabel 2. Kelas Mutu beton

Kelas	Mutu	Tegangan Tekan Hancur Karakteristik $\sigma'_{bk}(\text{kg/cm}^2)$	Konversi ke f'_c (MPa = N/mm ²)
-------	------	---	---

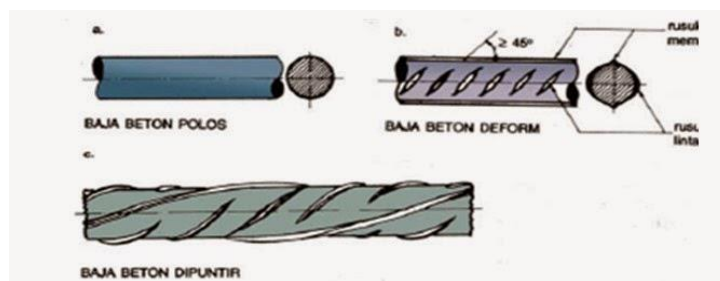
I	B_0	-	-
II	B_1	-	-
	K – 125	125	10
	K – 175	175	15
	K – 225	225	19
III	K – 300	300	25
	K - >300	-	$0,083 \times \sigma'_{bk}$

Sumber: PBI,1971

2.11 Mutu Baja Tulangan

Baja tulangan untuk konstruksi beton bertulang ada bermacam macam jenis dan mutu tergantung dari pabrik yang membuatnya. Ada dua jenis baja tulangan , tulangan polos (Plain bar) dan tulangan ulir (Deformed bar). Sebagian besar baja tulangan yang ada di Indonesia berupa tulangan polos untuk baja lunak dan tulangan ulir untuk baja keras. Beton tidak dapat menahan gaya tarik melebihi nilai tertentu tanpa mengalami keretakan. Oleh karena itu, agar beton dapat bekerja dengan baik dalam sistem struktur, beton perlu dibantu dengan memberinya perkuatan penulangan yang berfungsi menahan gaya tarik. Penulangan beton menggunakan bahan baja yang memiliki sifat teknis yang kuat menahan gaya tarik. Baja beton yang digunakan dapat berupa batang baja lonjoran atau kawat rangkai las (*wire mesh*) yang berupa batang-batang baja yang dianyam dengan teknik pengelasan. Baja beton dikodekan berurutan dengan: huruf BJ, TP dan TD. (Gideon Kusuma, 1997)

- BJ berarti Baja
- TP berarti Tulangan Polos
- TD berarti Tulangan Deformasi (Ulir)



Gambar 19. Bentuk Baja Tulangan
Sumber : (Gideon Kusuma, 1997)

Angka yang terdapat pada kode tulangan menyatakan batas leleh karakteristik yang dijamin. Baja beton BJTP 24 dipasok sebagai baja beton polos, dan bentuk dari baja beton BJTD 40 adalah deform atau dipuntir . Baja beton yang dipakai dalam bangunan harus memenuhi norma persyaratan terhadap metode pengujian dan pemeriksaan untuk bermacam macam mutu baja beton menurut Tabel di bawah ini.

Pada umumnya setiap baja mempunyai standar mutu dan jenis baja sesuai dengan yang berlaku. Baja tulangan yang terdapat dipasaran indonesia dapat dibagi dalam tipe mutu-mutu tercantum dalam tabel dibawah ini.

Tabel 3. Mutu baja tulangan

Mutu	Sebutan	Tegangan Tarik/Tekan yang diijinkan — $\sigma_a(\text{kg/cm}^2)$	Tegangan Leleh Karakteristik yang memberikan regangan tetap 0,2% $\sigma_{au}(\text{kg/cm}^2)$
U - 22	Baja Lunak	1250	2200
U - 24	Baja Lunak	1400	2400
U - 32	Baja Sedang	1850	3200
U - 39	Baja Keras	2250	3900
U - 48	Baja Keras	2750	4800
U - umum	-	$0.58 \times \sigma_{au}$	-

Sumber: PBI,1971

Tabel 4. Bentuk baja tulangan

Bentuk	Mutu Baja	Batas luluh MPa (kg/cm^2)	Kuat tarik MPa (kg/cm^2)	Regangan pada beban maksimal
Polos	Bj.Tp 24	240 (2400)	390 (3900)	3%
Deform	Bj.Td 40	400 (4000)	500 (5000)	5%

Sumber : Gideon Kusuma, 1997

2.12 Gaya yang bekerja pada Kubah

Kubah adalah struktur lengkung yang berdiri sendiri yang berbentuk seperti bagian dari bola. Kubah bergantung pada beberapa kekuatan penting untuk menopang atap setengah bola tanpa kolom atau sistem pendukung lain yang menjulang dari lantai di bawahnya:

1. Gaya normal gaya alam ini adalah gaya dukung yang diberikan pada struktur kubah melalui kontak dengan alas dan tanah tempat bangunan itu berada. Gaya ini menekan ke atas dari tanah.
2. Gravitasi gaya alam ini disebabkan oleh tarikan bumi terhadap semua benda ke arah pusatnya dan menarik kubah ke bawah. Gravitasi juga dapat dijelaskan sebagai berat bahan yang digunakan untuk membangun kubah.
3. Kompresi gaya ini bekerja pada setiap komponen kubah, menekannya dari kedua sisi. Bayangkan kubah yang terbuat dari batu bata; setiap batu bata menerima tekanan dari batu bata di sekitarnya untuk menahannya di tempatnya.



Gambar 20. Ilustrasi kompresi gaya pada kubah batu bata

4. Tegangan gaya ini bekerja dari luar dari setiap komponen kubah. Dalam contoh kubah bata kita, bayangkan setiap bata menekan dan menyangga bata di sebelahnya.
5. Dorongan—gaya-gaya di atas berpadu untuk menekan ke atas (gaya normal) dan menarik ke bawah (gravitasi), sehingga kubah menjadi padat dan meningkatkan kompresi dan tegangan yang menstabilkan permukaan lengkung kubah. Saat gaya-gaya tersebut mencapai keseimbangan ini, garis dorong memastikan kestabilannya

2.13 Jenis Beban Pada Bangunan

Beberapa beban yang bekerja pada bangunan adalah sebagai berikut:

1. Beban Lateral

Beban lateral pada bangunan adalah beban yang diterapkan pada struktur bangunan yang menyebabkan gaya horizontal pada

bangunan. Beban ini sering disebabkan oleh angin, gempa bumi, atau pengaruh lain yang mempengaruhi kestabilan bangunan. Beban lateral yang tidak terkontrol dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan dan bahkan dapat menyebabkan kehancuran total.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi beban lateral antara lain:

- Angin
- Gempa
- Perubahan suhu
- Pergerakan tanah

2. Beban Aksial

Beban aksial mengacu pada gaya yang bekerja sejajar dengan sumbu suatu benda. Ini adalah jenis beban yang cenderung menekan atau memanjangkan benda sepanjang porosnya. Gaya ini dapat diterapkan baik dalam tarikan maupun kompresi, bergantung pada arah gaya. Beban aksial dapat mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kinerja dan stabilitas berbagai struktur dan komponen. Singkatnya, beban aksial bekerja sejajar dengan sumbu suatu benda, baik dalam tarikan maupun tekan, dan mempunyai implikasi yang signifikan terhadap kinerja dan stabilitas struktur dan komponen.

2.14 Kerusakan Bangunan

Kerusakan bangunan adalah tidak berfungsinya bangunan atau komponen bangunan akibat penyusutan berakhirnya umur bangunan, atau akibat ulah manusia atau perilaku alam seperti beban fungsi yang berlebihan, kebakaran, gempa bumi atau sebab lain yang sejenis. Tingkat kerusakan sebuah bangunan gedung memiliki beberapa tingkatan, berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2021 Tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 Tentang Bangunan Gedung pada pasal 66, Tingkat kerusakan bangunan dibagi menjadi tiga tingkatan,

1. Kerusakan ringan adalah kerusakan yang terjadi pada komponen *non structural* seperti penutup atap, langit-langit, penutup lantai, dan dinding pengisi.
2. Kerusakan sedang adalah kerusakan pada sebagian komponen *non structural* atau komponen *structural* seperti struktur atap, lantai dan lain sebagainya.
3. Kerusakan berat adalah kerusakan sebagian besar komponen bangunan baik *structural* maupun *non structural* yang apabila setelah diperbaiki masih dapat berfungsi dengan baik sebagaimana mestinya.

Adapun kategori rusak berat dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5. Kategori rusak berat pada suatu bangunan

Kriteria Kerusakan	Uraian
Bangunan Roboh atau sebagian besar komponen struktur rusak	• Bangunan Roboh Total • Sebagian besar struktur utama bangunan rusak. • Sebagian besar dinding dan lantai bangunan patah/retak. • Secara fisik kondisi kerusakan >50% • Komponen penunjang lainnya rusak total • Membahayakan/beresiko difungsikan • Perbaikan dengan rekonstruksi

Sumber : Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2021

2.15 Jenis kerusakan pada bangunan

Menurut dinas pekerjaan umum dan penataan ruang kota kerusakan bisa terjadi karena beberapa hal seperti yang telah disebutkan di atas dan berikut ini adalah beberapa kerusakan yang bisa saja terjadi.

1. Kerusakan ringan terstruktur ==> kerusakan yang satu ini bisa berupa adanya retakan kecil di dinding, kemampuan struktur untuk memikul yang berkurang, kerusakan di bagian non struktural seperti di bagian lisplang, cerobong dan lain sebagainya. Jika membahas kerusakan yang satu ini, Anda bisa segera melakukan perbaikan.
2. Kerusakan ringan non-struktur ==> kerusakan ini bisa terjadi ketika adanya retakan halus pada bagian plesteran hingga adanya serpihan plester yang jatuhan. Untuk mengatasi jenis kerusakan yang satu ini, Anda bisa melakukan perbaikan tanpa harus mengotori bangunan.
3. Kerusakan total ==> jenis kerusakan pada bangunan yang selanjutnya adalah kerusakan total. Kerusakan ini bisa berupa bangunan yang roboh, sebagian besar dari komponen bangunan mengalami kerusakan hingga tidak layak huni. Perbaikan diperlukan untuk membersihkan lokasi serta membangun bangunan yang baru.
4. Kerusakan berat struktur ==> bisa berupa bangunan yang terpisah akibat elemen pengikat yang gagal menempel, dinding pemikul beban terbelah hingga runtuh, 50 persen dari elemen utama mengalami kerusakan. Dalam kondisi yang demikian, ada baiknya mengosongkan bangunan karena bahaya jika tetap ditempati.
5. Kerusakan sedang struktur ==> bisa juga mengalami kerusakan struktur sedang jika retakan menyebar luas di dinding pemikul beban, terjadi keretakan besar di bagian dinding, kemampuan struktur yang telah berkurang hingga sebagiannya.

Untuk kondisi ini bangunan sebaiknya dikosongkan dan diisi lagi jika sudah aman untuk penempatan.

2.16 Penyebab Bangunan Mengalami Kerusakan

Menurut dinas pekerjaan umum dan penataan ruang kota ada beberapa penyebab yang bisa menyebabkan terjadinya kerusakan pada bangunan seperti yang berikut ini:

1. Pondasi yang tidak kuat dapat menyebabkan bangunan mudah rusak dan roboh.
2. Material yang tidak tepat dapat menyebabkan bangunan tidak dapat mampu menopang bebannya.
3. Kesalahan pekerja dalam pelaksanaan konstruksi dapat menyebabkan kerusakan bangunan.
4. Perbedaan temperature dan kelembaban yang tinggi dapat mempercepat keretakan pada beton.
5. Korosi terjadi bila kondisi lingkungan yang agresif, seperti lokasi bangunan yang dekat dengan laut, berada dilingkungan dengan keasaman yang tinggi, didekat Jalan raya.
6. Bencana Alam seperti gempa bumi dapat merusak bangunan.
7. Struktur bangunan yang tua dan lapuk dapat mengalami kerusakan total.

Tabel 6. Kategori nilai kondisi bangunan dan predikatnya

Nilai kondisi bangunan (%)	Predikat kategori	Keterangan
81%100	Baik	Bila kondisi pada komponen tersebut masih berfungsi dengan baik dan ada pemeliharaan rutin
61%80	sedang	Bila kondisi pada komponen tersebut masih berfungsi meski tidak ada pemeliharaan rutin
41%60	Rusak ringan	Bila kerusakan terjadi pada komponen nonstruktural, seperti finishing, penutup atap, pasangan plafon, pasangan keramik, pasangan bata, dan plesteran
21%40	Rusak sedang	Bila kerusakan terjadi pada sebagian komponen nonstruktural maupun struktural seperti struktur atap, struktur langit-langit, struktur beton, lantai, dan lain-lain. Pada fasilitas utilitas kerusakan yang terjadi sedang mengganggu fungsional fasilitas tersebut

0%20	Rusak berat	Bila kerusakan terjadi pada sebagian besar komponen bangunan baik nonstruktural maupun struktural yang baik setelah diperbaiki masih dapat berfungsi dengan baik sebagaimana mestinya dengan pembiayaan yang cukup mahal
------	-------------	--

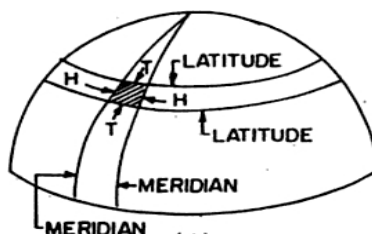
Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (MPPW 2002; Sulaiman 2005).

Kerusakan bangunan tidak hanya dapat terjadi oleh faktor manusia, namun juga dapat disebabkan oleh faktor alam. Salah satu faktor alam yang paling sering menyebabkan kerusakan bangunan adalah Hujan. ketika air hujan masuk ke dalam struktur beton sehingga membuat sambungan-sambungan tiang itu telah mengalami pelapukan, Yang biasa disebut korosi dapat menyebabkan robohnya bangunan

2.17 Jenis Tekanan Yang Ditimbulkan Dalam Kubah

ada dua jenis tekanan yang diinduksi dalam kubah adalah:

1. daya dorong meridional (t) di sepanjang arah meridian
2. tegangan lingkaran (h) di sepanjang garis lintang



Gambar 21. Kubah dengan gaya tekanan

Sumber : (Danieln L. Schodek,1999)

2.18 Pembebanan Struktur menurut PPIUG 1983

Dalam perencanaan suatu struktur bangunan harus memenuhi peraturan-peraturan yang berlaku untuk mendapatkan suatu struktur bangunan yang aman secara konstruksi. Analisis beban akan membantu dalam menentukan jenis struktur yang sesuai dan material yang tepat untuk digunakan. Beban yang harus diperhitungkan dalam analisis beban meliputi beban atap, beban langit-langit, beban lantai, beban dinding, dan beban lainnya seperti beban angin dan gempa

Menurut Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983, Struktur bangunan bertingkat direncanakan memiliki struktur utama yang mampu mendukung berat sendiri, gaya angin, beban hidup maupun beban khusus yang bekerja pada struktur

bangunan tersebut. Beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan ini adalah sebagai berikut:

1. Beban Mati (*Dead Load*)

Menurut PPIUG 1983, beban mati adalah beban yang berasal dari berat sendiri semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap termasuk dinding dan sekat pemisah, kolom, balok, lantai, atap, mesin dan peralatan yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung. Informasi mengenai berat satuan berbagai material yang sering digunakan pada bangunan untuk perhitungan beban mati dicantumkan sebagai berikut:

Tabel 7. Beban Mati Pada Struktur

Bahan Bangunan	Berat Volume (Kg/m ³)
Baja	7850
Beton	2200
Beton Bertulang	2400
Kayu (Kelas I)	1000
Kerikil, Koral	1650
Pasangan ½ bata	250
Pasangan 1 bata	450
Pasangan Bata Merah	1700
Pasir (Kering udara sampai lembab)	1600
Lantai keramik	24
Plafond	18

Sumber : Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983

2. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan gedung tersebut, baik akibat beban yang berasal dari orang maupun dari barang yang dapat berpindah atau mesin dan peralatan serta komponen yang tidak merupakan bagian yang tetap dari gedung. Meskipun dapat berpindah-pindah, beban hidup masih bisa dikatakan bekerja secara perlahan-lahan pada struktur.

Menurut Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 Beban Hidup pada atap gedung, yang dapat dicapai dan dibebani oleh orang, harus diambil minimum sebesar 100 kg/m² bidang datar.

Atap dan/atau bagian atap yang tidak dapat dicapai dan dibebani oleh orang, harus diambil yang menentukan (terbesar) dari:

- Beban terbagi rata air hujan

$$W_{ah} = 40 - 0,8 a$$

dengan,

a = sudut kemiringan atap, derajat (jika $a > 50^\circ$ dapat diabaikan).

W_{ah} = beban air hujan, kg/m^2 (min. W_{ah} atau 20 kg/m^2)

- Beban terpusat berasal dari seorang pekerja atau seorang pemadam kebakaran dengan peralatannya sebesar minimum 100 kg. Reduksi Beban Hidup pada perencanaan balok induk dan portal (beban horisontal/gempa dan angin), dapat dikalikan dengan faktor reduksi.

Tabel 8. Koefisien reduksi beban hidup

Penggunaan Gedung	Koefisien Reduksi beban Hidup	
	Peninjauan Beban Gravitasi	Peninjauan Beban Gempa
PERUMAHAN/HUNIAN		
Rumah tinggal, asrama, hotel, rumah sakit	0,75	0,30
PENDIDIKAN		
Sekolah, ruang kuliah	0,90	0,50
PERTEMUAN UMUM		
Masjid, gereja, bioskop, restoran, ruang dansa, ruang pagelaran	0,90	0,50

Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983

3. Beban Angin

Beban angin merupakan beban yang dapat mempengaruhi kestabilan , kekuatan struktur atau dapat menyebabkan faktor kritis pada struktur kubah, dikatakan demikian karena dominan kegagalan struktur kubah terjadi akibat prediksi beban angin yang kurang tepat (Kim YC et al., 2019). Kecepatan angin dasar dapat diperoleh dari peta ASCE 7-16. Untuk menghitung beban angin yang pertama adalah menghitung tekanan angin, dengan menggunakan rumus berikut:

$$q_z = 0.00256 K_z K_{zt} K_d K_e V^2 \left(\frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} \right); V, \frac{\text{mi}}{\text{h}} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

q_z = tekanan kecepatan angin (lb/ft^2)

K_z = koefisien tekanan kecepatan angin

K_{zt} = factor topografi

K_d = factor arah angin

K_e = factor elevasi tanah

V = kecepatan angin dasar (mi/h)

2.19 Kombinasi pembebanan

Menurut *SNI 03- 1729-2002-Hal 13* Suatu struktur harus mampu memikul kombinasi pembebanan sebagai berikut :

Tabel 9. Kombinasi pembebanan

Nama Kombinasi	Kombinasi Pembebanan
Kombinasi 1	1,4 <i>DL</i>
Kombinasi 2	1,2 <i>DL</i> + 1,6 <i>LL</i>
Kombinasi 3	1,2 <i>DL</i> + 0,5 <i>LL</i> + 1 <i>EQx</i>
Kombinasi 4	1,2 <i>DL</i> + 0,5 <i>LL</i> - 1 <i>EQx</i>
Kombinasi 5	1,2 <i>DL</i> + 0,5 <i>LL</i> + 1 <i>EQy</i>
Kombinasi 6	1,2 <i>DL</i> + 0,5 <i>LL</i> - 1 <i>EQy</i>
Kombinasi 7	1,2 <i>DL</i> + 0,5 <i>LL</i> + 1,3 <i>W</i>
Kombinasi 8	1,2 <i>DL</i> + 0,5 <i>LL</i> + 1 <i>RSPx</i> + 0,3 <i>RSPy</i>
Kombinasi 9	1,2 <i>DL</i> + 0,5 <i>LL</i> + 0,3 <i>RSPx</i> + 1 <i>RSPy</i>
Kombinasi 10	1,2 <i>DL</i> + 0,5 <i>LL</i> - 1 <i>RSPx</i> + 0,3 <i>RSPy</i>
Kombinasi 11	1,2 <i>DL</i> + 0,5 <i>LL</i> + 1 <i>EQx</i>
Kombinasi 12	1,2 <i>DL</i> + 0,5 <i>LL</i> - 1 <i>EQx</i>

Keterangan :

D adalah beban mati yang diakibatkan oleh konstruksi permanen, termasuk dinding , lantai, atap, plafon, patisi tetap, tangga, dan peralatan layanan tetap.

L adalah beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan dan lain sebagainya.

La adalah beban hidup yang berada di atap yang di timbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak.

H adalah beban hujan dan tidak termasuk yang disebabkan genangan air.

W adalah beban angin.

E adalah beban gempa, yang ditentukan menurut SNI 03-1726-1989, atau penggantinya.

Dengan :

$\gamma_L = 0,5$ bila $L < 5$ kPa dan $\gamma_L = 1$ bila ≥ 5 kPa.

2.20 Analisis Displacement

Perpindahan (Displacement) merupakan seberapa besar bangunan struktur khususnya gedung bergerak/berpindah pada setiap lantainya (Muhammad Ikhsan Gunaidi, 2017)