

PENDEKATAN SEISMIK PADA DESAIN MUSEUM MITIGASI GEMPA DAN TSUNAMI DI CILACAP

Putri Alifa Widiyasri, Agung Kumoro Wahyu W, Suparno

Prodi Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta

putrialifawidiyasri.97@gmail.com

Abstrak

Museum Mitigasi Gempa Bumi dan Tsunami di Cilacap adalah media untuk pendidikan mitigasi dan pengembangan pola pikir untuk bencana gempa bumi dan tsunami. Selain sebagai tempat pendidikan, museum ini dirancang melalui penerapan teori seismik untuk membangun dasar rekayasa struktural untuk mendukung fungsi bangunan sebagai bangunan evakuasi. Fungsi ini dimaksudkan untuk mengurangi faktor utama dari tingginya jumlah kematian dan kerugian material akibat bencana gempa dan tsunami, yang disebabkan oleh rendahnya pemahaman masyarakat tentang bencana dan kurangnya fasilitas atau wadah eakuasi yang terevaluasi dalam hal struktur dan kapasitas daya tampung. Metode perencanaan dan perancangan dilakukan melalui analisis data primer dan sekunder dengan metode deskriptif, yaitu penelitian yang mengumpulkan data tentang lokasi dan kebijakan yang berlaku, melakukan studi literatur tentang penerapan sistem pendidikan mitigasi dan penerapan teori seismik dari studi sebelumnya, kemudian memprosesnya dengan proses reduksi data, verifikasi data, dan proses tampilan data. Hasil penerapan teori seismik pada desain yang dirancang ini dapat dilihat pada hasil analisis lokasi, ruang, fasad, dan struktur.

Kata kunci: Seismik, Gempa dan Tsunami, Museum Mitigasi

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi bencana alam yang tinggi disebabkan oleh letaknya yang berada di gugusan atau jalur *Pasific Ring of Fire*. Dari bencana alam yang kerap terjadi di Indonesia, bencana alam yang paling mematikan adalah gempa dan tsunami. Terhitung terdapat hampir 4000 korban meninggal dikarenakan gempa maupun gempa yang diikuti tsunami yang terjadi di Indonesia pada tahun 2018 (BNPB, 2018). Tingginya angka tersebut diakibatkan oleh dua penyebab utama yakni rendahnya pemahaman masyarakat dalam menghadapi dan bereaksi terhadap bencana gempa dan tsunami (non-fisik) dan belum memadai dan terintegrasinya sarana dan prasarana evakuasi bagi masyarakat (fisik). Sarana dan prasarana yang digunakan sebagai bangunan evakuasi wajib melalui proses evaluasi standart bangunan tahan gempa dan tsunami. Melalui pengolahan tapak dan struktur dengan pendekatan seismik, diharapkan bangunan mampu mendukung sistem evakuasi kota.

Oleh karena itu, museum mitigasi gempa dan tsunami dengan pendekatan seismik memiliki tujuan untuk mengimbangi pengetahuan mendasar mengenai kebencanaan terhadap besarnya potensi bencana gempa dan tsunami serta turut berkontribusi di dalam perencanaan lokasi evakuasi kota melalui perancangan bangunan evakuasi bencana gempa dan tsunami. Pendekatan seismik pada bangunan dipilih untuk memberikan dasar penerapan rekayasa struktur dalam memenuhi tuntutan kondisi lingkungan bangunan dan kekuatan standart bangunan evakuasi. Dengan kata lain, pendekatan ini mengutamakan respon struktur atau adaptasi struktur terhadap lingkungan dan kebutuhan lainnya melalui rekayasa bentuk dan sistem dari struktur bangunan itu sendiri.

Cilacap merupakan salah satu daerah di selatan pulau Jawa yang telah merasakan dampak dari gempa dan tsunami pada Juni 2006 dan terhitung 95 desa mengalami kerusakan ringan maupun

berat (Catatan Kementerian Pekerjaan Umum, 2007 dalam Sunarto dan Marfai, 2012). Menurut penelitian dari sebuah jurnal dengan judul *Tsunami Evacuation System Application In Cilacap Regency* (2015) menyatakan bahwa saat penelitian dilakukan, terdapat 44 tempat evakuasi sementara yang telah ditetapkan namun masih belum mengalami evaluasi kekuatan struktur dan kapasitas muat. Dalam penelitian tersebut juga dinyatakan bahwa tingkat kepercayaan dan kesiapsiagaan penduduk Cilacap dalam evakuasi tsunami masih berada di bawah 50%. Hal ini tentu dipengaruhi salah satunya dari lokasi evakuasi yang tidak strategis serta kurangnya pemahaman mengenai kebencanaan gempa dan tsunami.

Teori seismik menjadi penyelesaian masalah-masalah yang diangkat dari setiap analisis yang dilakukan. Proses penyelesaian dilakukan dimulai dari menemukan hasil dari analisis pengolahan tapak dan analisis peruanan. Kedua analisis ini berperan dalam pemilihan kebutuhan bentuk dan ketinggian massa bangunan. Lalu dilanjutkan pada analisis tampilan. Analisis tampilan dilakukan untuk menghubungkan hasil analisis sebelumnya dengan melakukan pengembangan hasil analisis agar kemudian menemukan solusi penyelesaian. Diakhiri dengan melakukan pengembangan bentuk dan sistem struktur terhadap setiap kebutuhan. Tinjauan teori yang digunakan diambil dari Buku *Seismic Design for Architect*, 2008. Dalam buku tersebut, dijelaskan bahwa terdapat beberapa pertimbangan yang digunakan untuk setiap rekayasa struktur pondasi, vertikal, dan horizontal bangunan. Untuk rekayasa struktur horizontal, pertimbangan yang digunakan yakni:

1. Diafragma
2. Penetrasi diafragma
3. Diafragma transfer
4. Balok ikatan
5. Kolektor dan pengikat

Lalu untuk rekayasa struktur vertikal, pertimbangan yang digunakan adalah:

1. Dinding Geser
2. Dinding Bresing
3. Dinding Momen

Untuk struktur pondasi, pertimbangan yang digunakan adalah:

1. Dinding Penahan
2. Struktur Bawah Tanah
3. Tipe-Tipe Pondasi

Selain itu, dijelaskan pula solusi konfigurasi dari setiap rekayasa struktur pada sebuah bangunan simetris maupun asimetris. Konfigurasi yang diperkenalkan untuk permasalahan rekayasa struktur vertikal dibagi ke dalam pertimbangan-pertimbangan berikut: *soft-storey*, kolom pendek, dan dinding struktural yang tidak kontinyu dan terpasang. Sedangkan konfigurasi untuk permasalahan rekayasa struktur horizontal, pertimbangan-pertimbangannya adalah torsional dan torsional ekstrim, sambungan pojok bangunan, diskontinuitas diafragma, sistem non-pararel, tubrukan dan pemisahan, serta jembatan antarbangunan. Pada akhirnya, didapatkan prinsip desain yang digunakan sebagai patokan atau dasar analisis sebagai berikut:

1. Ruang dan Sirkulasi Terhubung
2. Respon Terhadap Lingkungan
3. Adaptasi Struktur

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dengan judul pendekatan seismik pada desain museum mitigasi gempa dan tsunami ini menggunakan sistem analisis data primer dan sekunder dengan metode deskriptif. Analisis

primer dilakukan pada penentuan lokasi strategis museum sebagai sarana edukasi dan evakuasi serta dilakukan untuk mendapatkan adaptasi struktur yang sesuai. Metode deskriptif digunakan untuk melengkapi data awal penelitian analisis sekunder. Variabel pada penelitian ini adalah aspek fisik dan non-fisik yang berhubungan dengan fungsi dan pendekatan seismik pada museum mitigasi gempa dan tsunami. Pengumpulan data dimulai dengan mengidentifikasi sumber informasi lalu dilanjutkan dengan mengumpulkan data yang dibutuhkan (*Wallace Foundation. Workbook B: Conducting Secondary Research*).

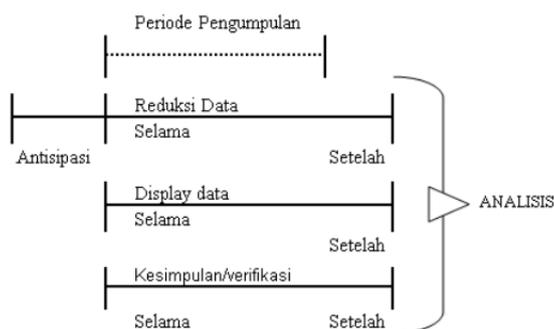
Sumber data yang teridentifikasi adalah:

1. Penelitian-penelitian sebelumnya yang korelasi dengan judul penelitian ini
2. Literasi buku perpustakaan
3. Data-data yang bisa ditelusuri melalui internet

Lalu untuk tahap pengumpulan data, jenis data yang digunakan berasal dari:

1. Penelitian yang sudah diterbitkan
2. Data standar perencanaan dan perancangan arsitektur
3. Data-data preseden bangunan sejenis

Berdasarkan jenis penelitiannya, maka jenis data dominan pada penelitian ini adalah data kualitatif. Proses pengolahan data kualitatif menurut Dr. Cahya Suryana, S.Si., M.Pd. (2007) memiliki empat tahap yakni: pengumpulan data, sortasi atau reduksi data, display data, dan kesimpulan atau verifikasi. Pengolahan data kualitatif pada penelitian ini juga merujuk pada empat proses yang dijelaskan oleh Miles dan Huberman (1984). Pengolahan data kualitatif dapat dilakukan pada saat di lapangan maupun pada saat kembali dari lapangan. Data-data yang telah diolah disampaikan dalam wujud hasil penelitian pada sub bagian hasil dan pembahasan melalui hasil analisis tapak, peruangan, dan tampilan untuk mendukung analisis struktur dengan pendekatan seismik di akhir. Analisis struktur dengan pendekatan seismik dianggap sebagai solusi penyelesaian dalam penelitian ini. Data-data yang disajikan ditampilkan secara lebih mudah dan menarik melalui gambar, tabel, dan skema untuk mempermudah pemahaman penelitian yang dilakukan.



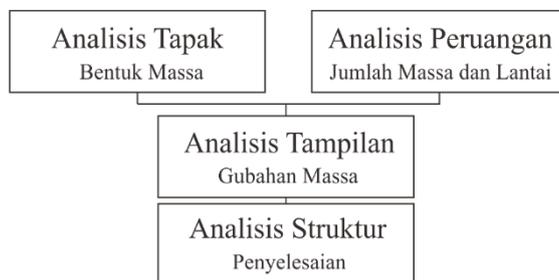
Gambar 1. Teknik Pengolahan Data Kualitatif

Sumber: Cahya Suryana, 2007

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

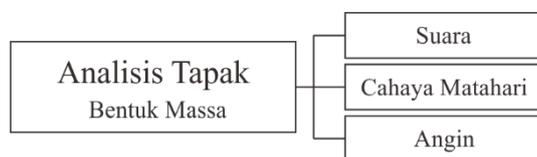
Sub bagian ini akan menjelaskan bagaimana teori seismik diterapkan sebagai dasar analisis rekayasa struktur bangunan. Untuk mendapatkan kebutuhan-kebutuhan pada bagian struktur bangunan, dilakukan analisis tapak, peruangan, dan tampilan. Analisis tapak akan memberikan bentuk massa awal bangunan beserta kebutuhan bukaan pada bangunan. Analisis peruangan akan memberikan jumlah massa dan ketinggian bangunan melalui identifikasi peruangan dan sifatnya. Di

akhir, jumlah massa dan ketinggian bangunan didapatkan dari zonasi ruang-ruang pada bangunan. Analisis tampilan akan melanjutkan hasil analisis sebelumnya. Pada bagian ini, analisis mempertimbangkan pengembangan hasil analisis sebelumnya melalui beberapa respon desain dan aspek estetika bangunan. Hasil analisis tampilan akan berpengaruh besar terhadap analisis struktur dengan pendekatan seismik di akhir. Tetapi analisis struktur tidak akan bisa dilakukan sendiri atau berada di awal karena kebutuhan rekayasa struktur digunakan untuk memenuhi kebutuhan tiap analisis di bangunan.



Gambar 2. Analisis Makro dengan Pendekatan Seismik

A. Analisis Tapak



Gambar 3. Analisis Tapak

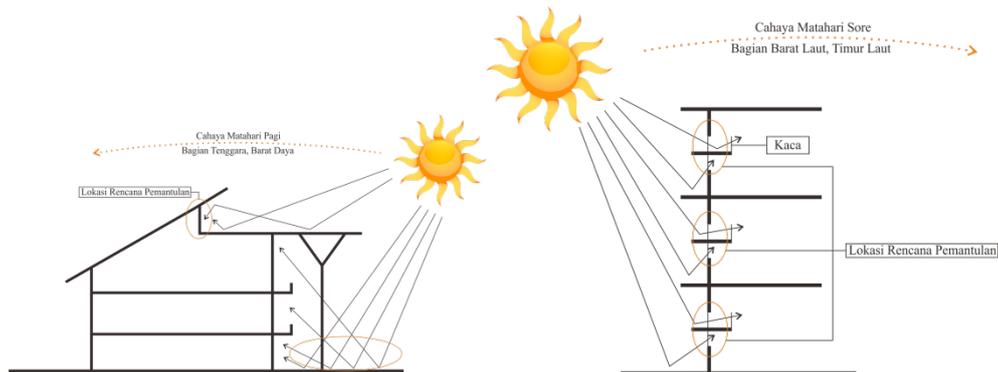
Analisis tapak mencakup aspek cahaya matahari, angin, dan suara/kebisingan. Analisis ini dilakukan untuk mendapatkan solusi-solusi pengolahan tapak site dan solusi-solusi pengolahan tampilan bangunan museum. Untuk setiap pertimbangan aspek, akan dihasilkan respon desain yang kemudian akan dilanjutkan pada analisis tampilan dan struktur. Respon desain terhadap aspek kebisingan dikategorikan ke dalam dua pertimbangan yakni kebisingan yang datang dari luar site dan kebisingan yang dari dalam site itu sendiri. Setiap respon ditujukan untuk mengurangi kebisingan yang sampai pada daerah bangunan atau daerah dalam bangunan. Untuk kebisingan yang datang dari luar bangunan, digunakan barrier alami dan buatan. Respon desain bagi kebisingan yang datang dari dalam site sendiri ditanggulangi menggunakan pemberian jarak antara zona kedatangan dan zona beraktivitas lainnya. Pemberian jarak ini berupa pemisahan bagian zona kedatangan atau zona drop off dan bangunan utama.



Gambar 4. Respon Desain Atas Kebisingan dari Luar Site (kiri) dan Respon Desain Atas Kebisingan dari Dalam Site (kanan)

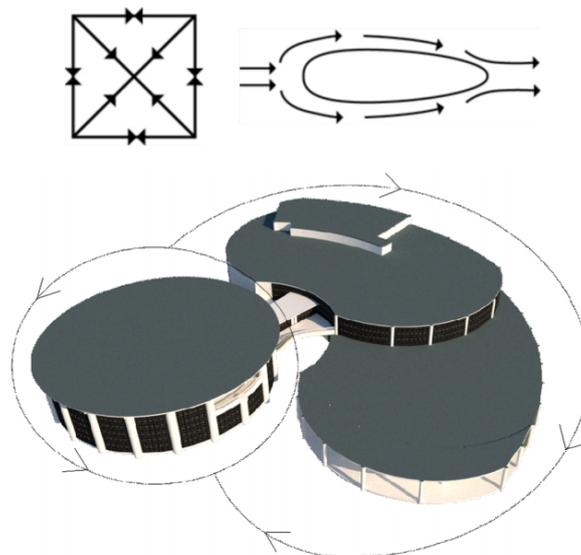
Untuk aspek pertimbangan cahaya matahari, didapatkan dua respon desain yaitu respon desain yang diterapkan pada sisi terbitnya matahari dan respon desain yang diterapkan pada sisi terbenamnya matahari. Respon desain mempertimbangan bagaimana cara memantulkan sinar matahari agar dapat menerangi interior bangunan secara tidak langsung. Media atau wilayah

pemantulan pada kedua respon desain akan berbeda. Pada daerah dengan sifat cahaya lebih silau, daerah pemantulan berada lebih jauh dari bangunan. Media yang digunakan adalah media yang menyerap panas. Berikut adalah ilustrasi respon desain terhadap sinar cahaya matahari:



Gambar 5. Respon Desain Atas Cahaya Matahari Terbit (kiri) dan Respon Desain Atas Cahaya Matahari Terbenam (kanan)

Respon desain terhadap aspek angin menghasilkan rencana bentuk awal massa bangunan serta saran bentuk struktur lapisan luar bangunan.



Gambar 6. Respon Desain Atas Angin

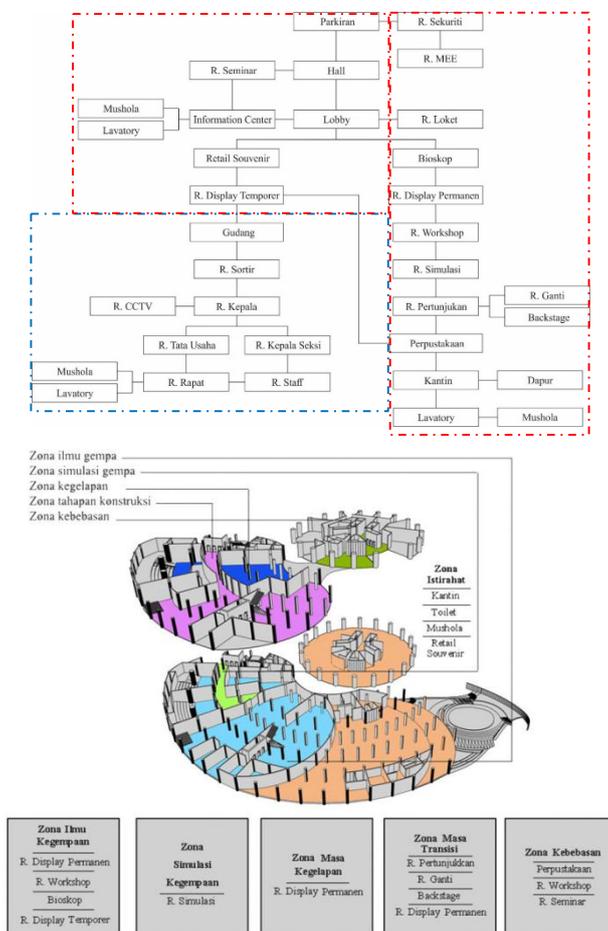
Bentuk struktur bangunan yang sesuai yaitu bentuk aerodinamik seperti pada sayap pesawat atau bangunan Burj Al-Arab. Struktur tambahan seperti tiang dari reinforced concrete atau brace berbentuk segitiga dapat membantu mengalirkan dan menetralkan gaya dari angin. Selain itu, untuk memudahkan mengalirkan gaya angin, digunakan sistem panggung pada bagian dasar bangunan. Hal ini ditujukan agar bangunan tidak menahan gaya angin tetapi mengalirkannya sehingga struktur tidak bekerja lebih.

B. Analisis Peruangan



Gambar 7. Analisis Peruangan

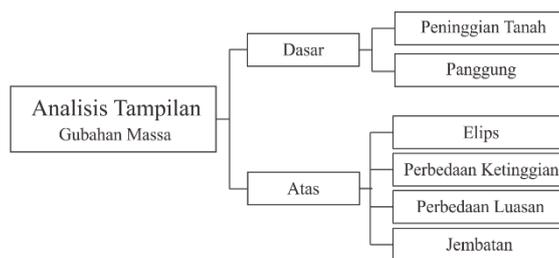
Setiap kegiatan yang terjadi di dalam museum diwadahi oleh ruang-ruang edukasi yang masing-masingnya memiliki hubungan ruangan. Hubungan yang dimiliki setiap ruang museum mempertimbangan proses kegiatan pelaku museum, jenis sirkulasi yang dipertimbangkan, pengelompokkan ruangan ke dalam lima zonasi museum atau lima zona organisasi spasial, serta merujuk ada preseden yang ada. Pengelompokkan ruang-ruang pada bangunan museum ke dalam lima zonasi organisasi spasial akan diperlihatkan pada tabel satu. Dari pengelompokkan tersebut, hubungan tiap ruang pada bangunan museum akan menyesuaikan dengan alur pameran atau alur zonasi dimulai dari peruangan pada zona kedatangan lalu ke zona pada bagian kanannya yaitu zona ilmu kegempaan, lalu ke zona masa kegelapan, lalu ke zona masa transisi, lalu zona kebebasan, dan terakhir zona istirahat. Hubungan ruang tersebut di akhir memberikan dua wilayah utama antara wilayah pengunjung museum (merah) dan wilayah dari pengelola museum (biru) dilihat dari perbedaan arah awal dan akhir masing-masing alur.



Gambar 8. Hubungan Ruang dan Zonasi Spasial Ruang pada Bangunan

Wilayah utama pengunjung adalah hasil analisis peruangan yang menggunakan zonasi organisasi spasial. Sedangkan untuk wilayah pengelola, tidak digunakan pengelompokan ruang. Antara kedua wilayah ini, pembeda wilayah yang digunakan adalah sirkulasi utama. Untuk wilayah pengunjung, berdasarkan sistem lima zonasi, maka digunakan satu alur pameran yang menerus sehingga pengunjung membutuhkan rencana alur dimana pintu memulai kunjungan dan mengakhiri kunjungan harus berada di lantai dasar. Hal ini agar alur pameran tidak membawa pengunjung untuk mengakhiri kegiatannya di lantai dua dan harus menuruni tangga menuju lantai satu untuk keluar dari bangunan itu sendiri. Sehingga dibutuhkan dua massa berbeda dengan satu sistem penghubung antarmassa bangunan. Selain itu, dikarenakan perbedaan luasan pada wilayah pengunjung dan pengelola, akan terjadi perbedaan pola penataan ruang dan sirkulasi antara kedua wilayah. Sehingga, berdasarkan analisis peruangan, bangunan ini memiliki dua lantai dan dua massa utama dengan penghubung antarmassa bangunan berupa jembatan.

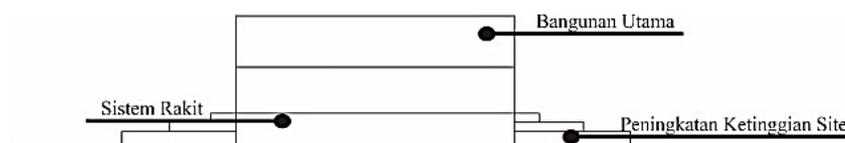
C. Analisis Tampilan



Gambar 9. Analisis Tampilan

Analisis tampilan dilakukan untuk mendapatkan gubahan massa dari bangunan. Gubahan massa ini berperan sebagai kebutuhan bangunan sekaligus menjadi sebuah tuntutan rekayasa struktur. Analisis ini dikelompokkan menjadi dua pembahasan yaitu analisis tampilan dasar bangunan dan analisis tampilan atas bangunan. Analisis bagian dasar bangunan terdiri dari aspek peninggian ketinggian tanah dan aspek sistem panggung. Analisis bagian atas terdiri dari aspek bentuk massa elips, perbedaan ketinggian menanggapi penggunaan sistem panggung, perbedaan luasan menanggapi hasil analisis peruangan, serta jembatan antarmassa. Peninggian tanah dilakukan sebagai respon desain terhadap kebisingan. Peninggian tanah ini dilakukan di sekitar bangunan dalam bentuk amphitheater yang juga dapat difungsikan sebagai area pengembangan komunitas sekitar.

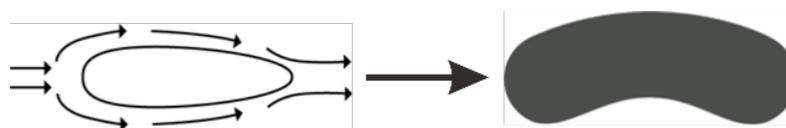
Sistem panggung digunakan sebagai respon desain dari kebutuhan ruang penerima yang bersifat terbuka. Selain itu, sistem panggung membantu sistem pengaliran pengudaraan alami pada interior bangunan. Sistem ini, dalam keadaan sedang bencana tsunami, mampu mengurangi tekanan atau dorongan hantaman air terhadap struktur bangunan.





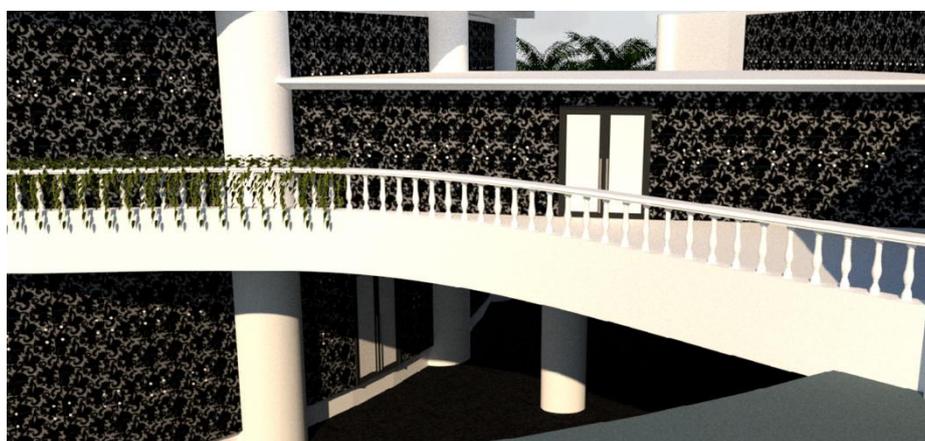
Gambar 10. Amphitheater dan Sistem Panggung Bangunan

Selanjutnya adalah analisis bagian atas bangunan yaitu bentuk massa elips. Bentuk elips atau bentuk aerodinamis dipilih sebagai bentuk yang paling ramah terhadap sistem pengaliran gaya luar. Gubahan massa yang terjadi, dimulai dari pemilihan bentuk aerodinamis lalu mengalami rekayasa bentuk pengurangan dan penambahan sehingga bentuk lebih simetris, dapat dilihat pada gambar 11.



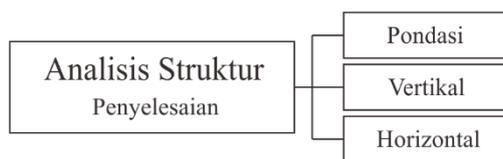
Gambar 11. Gubahan Massa Awal

Respon desain bangunan berupa perbedaan ketinggian didasari oleh kebutuhan adanya sistem panggung. Antara lantai dengan sistem panggung dan lantai atasnya akan memiliki perbedaan ketinggian. Lantai dasar menggunakan ketinggian sekitar 6 meter dan lantai di atasnya menggunakan ketinggian sekitar 5 meter. Selanjutnya, untuk menyesuaikan dengan kebutuhan dua massa yang berhubungan, digunakan penghubung berupa jembatan antarmassa. Jembatan ini diletakkan pada lantai dua tiap massa. Jembatan ini tidak akan berbentuk seperti jembatan pada umumnya. Jembatan akan dirancang berupa suatu area terbuka dan tertutup dimana wilayah terbuka digunakan sebagai transisi ruang dengan vegetasi alami di sekitarnya. Bagian yang tertutup digunakan untuk sirkulasi perpindahan langsung.



Gambar 12. Jembatan atau Penghubung Antarmassa

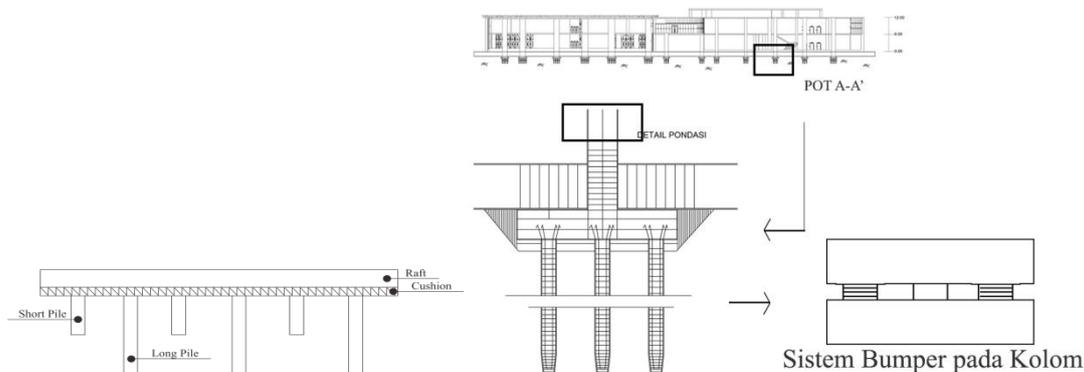
D. Analisis Struktur



Gambar 13. Analisis Struktur

Analisis struktur didasari dari teori seismik yang mempertimbangkan rekayasa bangunan yang tidak simetris atau bangunan dalam bentuk apapun agar tahan terhadap gaya besar yang datang dari luar bangunan. Analisis pada bagian ini akan menyelesaikan atau melengkapi perancangan sebelumnya dari segi rekayasa struktur. Analisis ini dibagi ke dalam tiga sub yakni sub pondasi, sub vertikal, dan sub horizontal. Untuk sub pondasi, struktur yang digunakan adalah struktur rakit dan dilengkapi dengan tiang pancang pada bagian bawahnya.

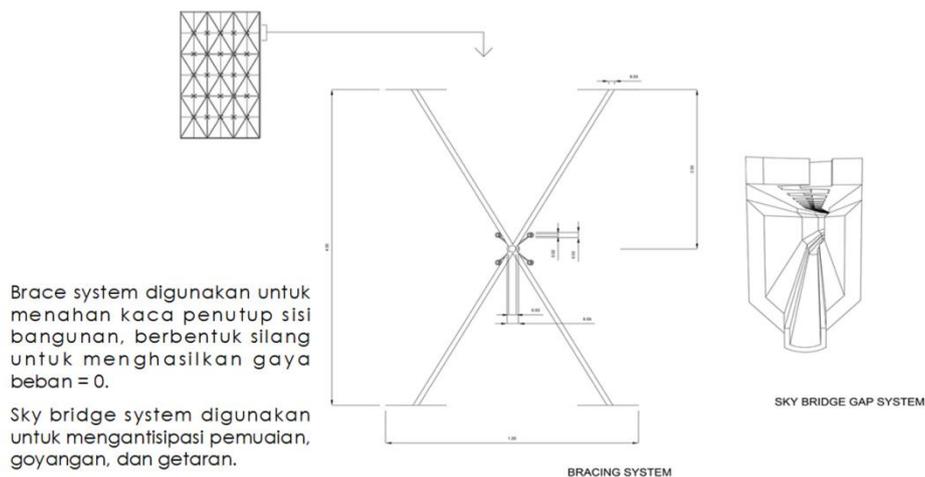
Struktur ini dipilih dengan pertimbangan bahwa tiang pancang dapat mencapai setiap tanah keras pada setiap titik di site serta tiang pancang dapat membantu bangunan mencapai kestabilan melalui kemudahan rekayasa ketinggian. Sistem rakit juga dapat menghindari gaya guling dan torsi terjadi karena luasannya yang besar dan padat sehingga membantu menekan bangunan ke arah bawah apabila terjadi dorongan gaya secara horizontal dari luar bangunan. Selanjutnya untuk sistem pondasi bangunan, akan diterapkan peninggian ketinggian tanah di sekitar bangunan sehingga bangunan lantai dasar akan berada pada ketinggian di bawah tanah tetapi sejajar dengan jalan utama kota. Hal ini ditujukan untuk mendukung sistem kerja pondasi rakit.



Gambar 14. Struktur Pondasi Bangunan

Untuk sub vertikal, dipilih struktur bracing frame yang dapat menahan gaya tegangan dan tekanan serta dilengkapi dengan pemilihan struktur momen frame. Pertimbangan pemilihan struktur ini adalah bahwa bracing frame memiliki berat total lebih ringan dibandingkan dengan struktur solid lainnya. Sedangkan struktur momen frame memudahkan rekayasa bentuk elips, ketinggian, dan sambungan struktur, memfasilitasi bangunan dengan bukaan dan sirkulasi yang lebih banyak, serta memfasilitasi bangunan dengan sistem panggung.

Selain itu, analisis vertikal dilakukan dalam memenuhi beberapa tuntutan struktur seperti struktur kantilever, struktur sistem panggung, dan struktur bangunan dengan perbedaan denah pada massa yang sama. Rekayasa struktur kantilever yang dilakukan adalah menghilangkan sprandel atas dan bawah balok demi menghindari sifat struktur balok kuat dan kolom lemah. Penghubung antarmassa dibutuhkan agar setiap massa tidak memiliki sistem peruangan maupun sistem lainnya secara terpisah. Sendi kaku atau *fixed joint* dan sendi luncur diberikan agar jembatan dapat bergerak tanpa harus menabrak atau menghancurkan sistem struktur di setiap massa. Sendi luncur memudahkan pergerakan jembatan ke arah x-axis atau y-axis dari jembatan.



Gambar 15. Struktur Vertikal Bangunan

Lalu untuk struktur sistem panggung, rekayasa yang dilakukan adalah pemberian balok tanpa diafragma untuk memberikan ketinggian yang sama setiap lantainya. Rekayasa ini dipilih atas alasan bahwa pada sistem panggung, lantai dasar akan memiliki ketinggian yang lebih dibandingkan dengan lantai di atasnya.



Gambar 16. Struktur Vertikal Bangunan 2

Pada rekayasa struktur dengan perbedaan denah pada satu massa, hal yang dapat dilakukan adalah dengan memberikan transfer diafragma pada atap denah bagian bawah sehingga frame pada denah tersebut berfungsi sebagai penyalur gaya. Pada sistem ini, struktur keseluruhan bangunan tetap menjadi satu kesatuan; tidak terjadi pemisahan tanggung jawab menjadi struktur utama dan pendukung. Selanjutnya yaitu sub horizontal, struktur yang dipilih adalah transfer diafragma. Keuntungan struktur ini adalah memudahkan dalam rekayasa bentuk dan penetrasi struktur. Penetrasi dilakukan untuk menyediakan akses utilitas, akses sirkulasi vertikal, dan memenuhi kebutuhan bentuk elips pada bangunan. Penetrasi dilakukan memenuhi ketentuan yang ditetapkan yaitu hanya dilakukan pada bagian tengah sehingga tidak mengganggu akor diafragma dan apabila terpaksa dilakukan pada bagian ujung, steel bracing atau frame vierendeel digunakan.



Gambar 17. Struktur Horizontal Bangunan 1

Sumber: *Seismic Design for Architect*, 2008

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Pendekatan seismik digunakan sebagai dasar pengembangan rekayasa struktur bangunan yang bersifat terikat pada aturan dasar penyaluran gaya dan sistem struktur bangunan tetapi tidak terikat pada bentuk-bentuk tertentu. Analisis tapak menghasilkan beberapa ketentuan sebagai berikut:

- I. Kebutuhan bentuk massa yang aerodinamis
- II. Kebutuhan penambahan struktur lapisan bangunan yakni brace yang berbentuk segitiga
- III. Kebutuhan sistem panggung untuk mengalirkan udara pada bagian interior bangunan
- IV. Kebutuhan peninggian ketinggian tanah pada daerah sekeliling bangunan untuk mereduksi kebisingan dari luar

Analisis peruangan dilakukan untuk menghasilkan jumlah massa, ketinggian bangunan, dan penghubung antarmassa. Analisis tampilan memberikan hasil gubahan massa aerodinamis yang lebih simetris dengan jembatan antarmassa sebagai ruang transisi. Adaptasi rekayasa struktur dari hasil analisis sebelumnya dilakukan dalam tiga kelompok utama yaitu adaptasi struktur pondasi dengan pilihan sistem rakit dan tiang panjang serta peninggian ketinggian tanah pada sekeliling bangunan. Adaptasi struktur vertikal dilakukan dengan pemilihan struktur bracing frame dan momen frame. Adaptasi struktur horizontal dengan pemilihan sistem diafragma transfer. Penetrasi diafragma ditanggapi dengan penggunaan steel bracing. Selain itu, balok tanpa diafragma digunakan untuk menanggapi ketinggian tiap lantai.

DAFTAR PUSTAKA

- Blackwell, Wiley. 2012. *Neufert Architect's Data*. Jerman: Blackwell Publishing Ltd.
- Charleson, Andrew. 2008. *Seismic Design for Architects*. Oxford: Elsevier Linacre House.
- F Thomas, R Chaney dan R Tseng. 2018. *Analysis of Community Tsunami Evacuation Time: an Overview*. Indonesia: Indonesian Institute of Sciences.
- Muhaimin, dkk. 2016. Analisis Resiko Gempabumi di Cilacap Provinsi Jawa Tengah. Bogor: Intitut Pertanian Bogor.
- Mutaqin, Bachtiar Wahyu. 2016. Pemetaan Tingkat Kerawanan Bencana Tsunami di Pantai Selatan Kabupaten Cilacap Jawa Tengah. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.

- Rachman, Arip P dan Mahatma S Suryo. 2015. Penerapan Sistem Evakuasi Tsunami di Kawasan Perkotaan Kabupaten Cilacap, Kasus: Kecamatan Cilacap Selatan. Bandung: Pusat Litbang Permukiman, Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum.
- Sadly, Muhamad dkk. 2017. Katalog Tsunami 2017. Jakarta Pusat: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Suryana. 2010. Metodologi Penelitian; Model Praktis Penelitian Kuantitatif dan Kuantitatif. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Suryana, Cahya. 2007. Pengolahan dan Analisis Data Penelitian. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.