

IMPROVEMENT DESAIN BRAKET PIPA *SIPHONIC DRAINAGE SYSTEM* TERHADAP BEBAN GETARAN SEISMIK MENGGUNAKAN FINITE ELEMEN METHOD (FEM)

Rifki Aditya Tri Nugroho¹, Achmad Widodo², Ojo Kurdi²

¹Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275, Telp +62247460059

E-Mail: rifkiadityatn14@gmail.com

Abstrak

Indonesia merupakan negara yang sangat rentan terhadap gempa bumi (beban seismik) karena lokasinya di Cincin Api Pasifik, yang menuntut perancangan infrastruktur, termasuk komponen non-struktural seperti braket pipa sistem drainase, agar tahan gempa. Di sisi lain, curah hujan yang tinggi di Indonesia mendorong penggunaan sistem drainase sifonik yang lebih efisien dibandingkan sistem gravitasi dalam pengelolaan air hujan. Getaran seismik dapat menyebabkan kelelahan material dan kegagalan struktural pada braket pipa, sehingga analisis kinerja dan desain sangat penting untuk menjaga stabilitas dan keandalan sistem perpipaan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis respons dinamis dan meningkatkan performa desain braket pipa *Siphonic Drainage System* terhadap beban getaran seismik. Metode yang digunakan adalah simulasi numerik dengan *Finite Element Method* (FEM) menggunakan perangkat lunak ANSYS, meliputi analisis statik struktural, analisis modal untuk menentukan frekuensi pribadi, dan analisis *Response Spectrum* untuk mengevaluasi batas aman struktur terhadap gempa. Hasil simulasi statik menunjukkan desain awal telah memenuhi standar ASPE 45-2018 dengan *Safety Factor* (SF) minimal 3,95. Analisis *Response Spectrum* pada desain awal menunjukkan margin aman berturut-turut sebesar 32% untuk Kota Jakarta (tanah keras, SC), 45% untuk Kota Batang (tanah sedang, SD), dan 39% untuk Kota Tangerang (SC). Melalui improvisasi desain, didapatkan dua dari empat desain perbaikan (Desain 1 dan Desain 3) menunjukkan performa yang lebih unggul terhadap beban seismik dengan peningkatan margin aman (misalnya, menjadi 35% untuk Kota Jakarta). Kesimpulan dari penelitian ini adalah keberhasilan dalam merekomendasikan model braket pipa yang lebih stabil, dan memiliki ketahanan lebih baik terhadap getaran seismik.

Kata Kunci: beban seismik; braket pipa *shiponic drainage system*; *finite element method* (fem)

Abstrack

Indonesia is a country that is highly vulnerable to earthquakes (seismic loads) due to its location in the Pacific Ring of Fire, which requires the design of infrastructure, including non-structural components such as drainage system pipe brackets, to be earthquake-resistant. On the other hand, high rainfall in Indonesia encourages the use of a symphonic drainage system that is more efficient than the gravity system in rainwater management. Seismic vibrations can cause material fatigue and structural failure in the pipeline bracket, so performance and design analysis are essential to maintain the stability and reliability of the piping system. This study aims to analyze the dynamic response and improve the design performance of the *Siphonic Drainage System* pipe bracket to seismic vibration loads. The method used was numerical simulation with the *Finite Element Method* (FEM) using ANSYS software, including structural static analysis, modal analysis to determine personal frequency, and *Response Spectrum* analysis to evaluate the safe limits of the structure against earthquakes. The results of the static simulation show that the initial design has met the ASPE 45-2018 standard with a *Safety Factor* (SF) of at least 3.95. *Response Spectrum* analysis in the initial design showed consecutive safe margins of 32% for Jakarta City (hard soil, SC), 45% for Batang City (medium soil, SD), and 39% for Tangerang City (SC). Through design improvisation, it was obtained that two of the four improvement designs (Design 1 and Design 3) showed superior performance to seismic loads with an increase in safe margins (for example, to 35% for the City of Jakarta). The conclusion of this study is the success in recommending a more stable pipe bracket model, and having better resistance to seismic vibrations.

Keywords: *finite element method* (fem); pipes bracket shiponic drainage system; seismic load

1. Pendahuluan

Indonesia termasuk dalam negara tropis dimana curah hujan tahunan dan jumlah hari hujan per tahun termasuk dalam kategori menengah ke tinggi. curah hujan rata-rata di Indonesia berada pada angka 2000-3000 mm/tahun [1]. Pada

sebuah gedung baik bertingkat atau tidak, curah hujan ekstrem dapat menyebabkan penumpukan air pada bagian atap gedung yang secara tidak langsung dapat menambah beban operasional dari struktur maupun material dari atap tersebut. Maka dari itu sebagai langkah preventif, penting bagi seorang perencana untuk memikirkan drainase air hujan dengan baik [2]. Sistem drainase sifonik berbeda dengan sistem gravitasi, sistem sifonik dengan area drainase yang setara dapat memiliki kapasitas yang jauh lebih tinggi, karena memungkinkan untuk mencapai aliran di seluruh penampang pipa ketika air hujan mengalir. Sistem sifonik beroperasi pada tekanan yang lebih rendah dari tekanan atmosfer [3].

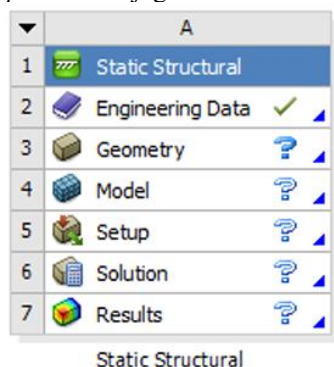
Indonesia merupakan salah satu negara yang terletak di wilayah Cincin Api Pasifik (Ring of Fire), yaitu jalur seismik aktif yang mengelilingi Samudra Pasifik dan dikenal sebagai daerah dengan aktivitas tektonik paling intens di dunia [4]. Kondisi ini menuntut adanya pemahaman mendalam terhadap beban seismik serta perancangan struktur yang tahan terhadap gempa, terutama pada infrastruktur vital seperti jembatan, bangunan, dan sistem perpipaan. Salah satu infrastruktur yang akan peneliti kaji pada penelitian kali ini adalah terkait drainase pipa penampung air hujan pada gedung bertingkat. Sistem sifonik beroperasi pada tekanan yang lebih rendah dari tekanan atmosfer [5]. Gempa bumi merupakan salah satu beban dinamis yang sangat penting untuk diperhitungkan dalam perancangan struktur bangunan. Beban gempa menyebabkan percepatan lateral yang menghasilkan gaya inersia pada massa bangunan, sehingga struktur harus dirancang agar mampu menahan deformasi dan gaya-gaya lateral tersebut [6]. Bangunan tinggi memiliki periode getar alami yang lebih panjang sehingga merespons lebih besar terhadap gempa dengan periode panjang [7]. Dalam konteks rekayasa struktur, analisis dinamika struktur digunakan untuk memahami perilaku struktur yang dikenai beban dinamis, termasuk beban seismik. Analisis ini mencakup perilaku struktur yang dikenai beban dinamis (tindakan yang memiliki percepatan tinggi), seperti gempa bumi, angin, gelombang, lalu lintas, dan ledakan [8].

PGA merupakan percepatan maksimum tanah yang dicapai di permukaan lokasi saat terjadi gempa. Nilai ini mencerminkan intensitas getaran yang dialami oleh struktur dan tanah setempat, sehingga menjadi parameter penting dalam evaluasi bahaya seismik dan desain struktur tahan gempa [9]. S_s adalah parameter percepatan respons spektral dari peta gempa pada periode pendek (0,2 s) [10]. S_I adalah parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik [10]. F_a adalah faktor koreksi situs tanah untuk periode pendek, sedangkan F_v adalah faktor koreksi situs tanah untuk periode panjang. Keduanya digunakan untuk menyesuaikan nilai percepatan batuan dasar agar sesuai dengan kondisi tanah di lokasi struktur [10]. Nilai SDS dan SD1 digunakan untuk menentukan koordinat spektrum desain gempa, yang merupakan dasar dalam analisis respons struktur terhadap beban seismik [10]. T_o dan T_s merupakan periode karakteristik yang mengontrol bentuk kurva spektrum desain. Periode T_o menandai transisi dari kenaikan linier ke plateau spektrum, sementara T_s menunjukkan batas antara plateau dan bagian menurun spektrum [10]. Nilai S_a (Spectral Acceleration) merupakan percepatan spektrum yang diperkirakan dapat terjadi dengan mempertimbangkan letak daerah, dan klasifikasi jenis tanah [10]. Deformasi merupakan perubahan bentuk, dimensi dan posisi dari suatu materi [11]. Natural frekuensi didefinisikan sebagai frekuensi di mana suatu system yang cenderung berisolasi tanpa adanya gaya eksternal atau redaman. Setiap system memiliki satu atau lebih frekuensi pribadi yang bergantung pada karakteristik massa dan kekakuannya [12]. Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method* atau FEM) adalah suatu pendekatan numerik yang digunakan secara luas dalam bidang teknik dan sains untuk menyelesaikan berbagai permasalahan fisika yang kompleks, seperti perpindahan panas, tegangan mekanik, aliran fluida, dan fenomena elektromagnetik. Prinsip dasar FEM adalah memecah domain kontinu yang kompleks menjadi bagian-bagian kecil dan terhitung yang disebut elemen [13].

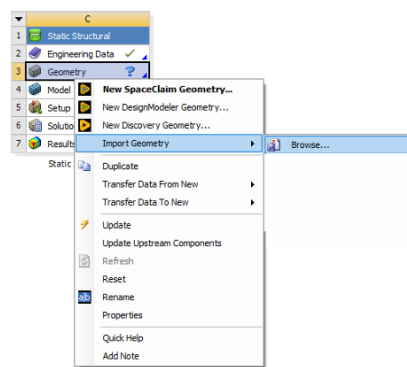
2. Metode Eksperimen

2.1 Simulasi *Static Structural*

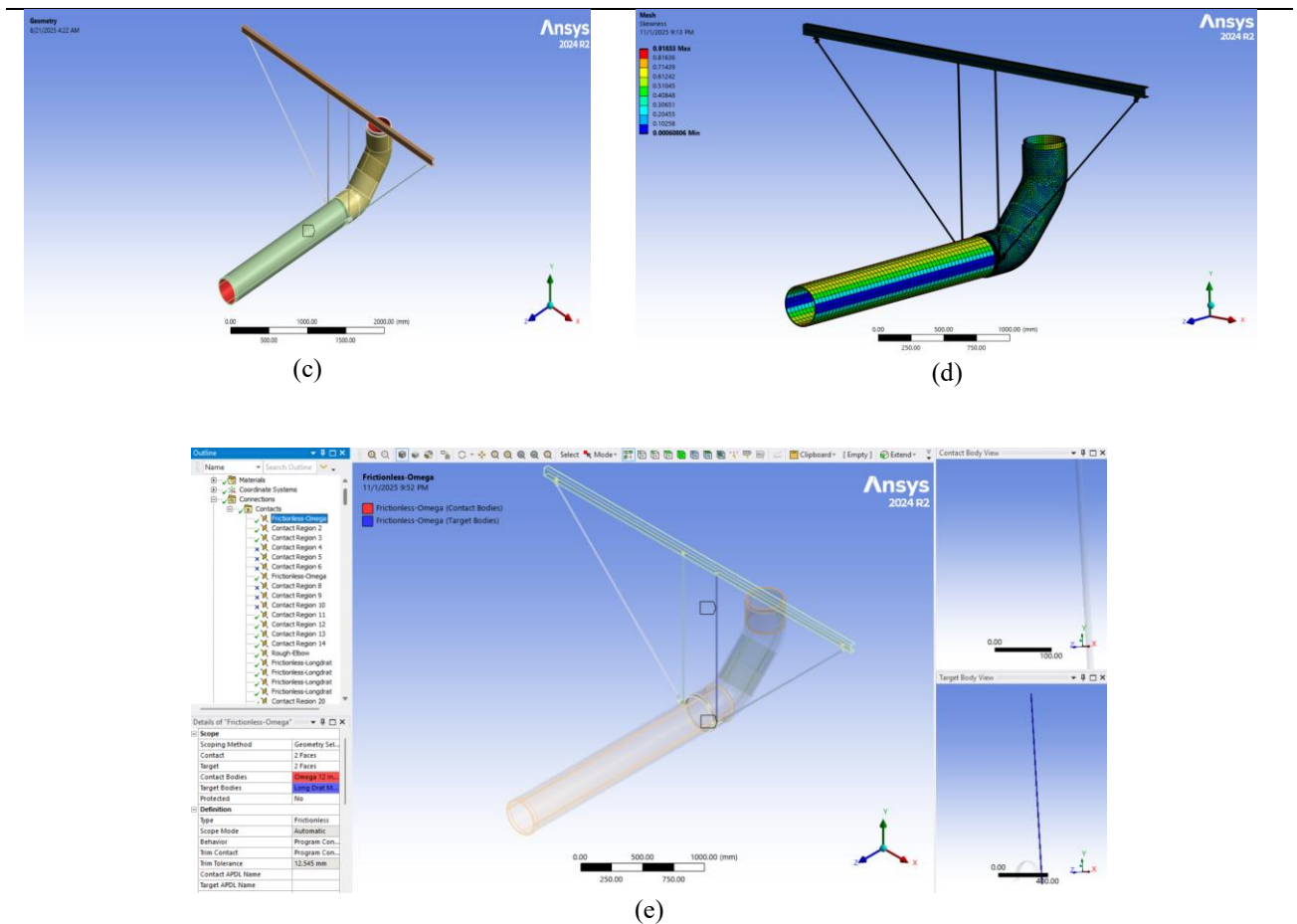
Pada penelitian ini, simulasi akan menggunakan software Ansys. Langkah awal untuk melakukan simulasi pembebanan statis yaitu membuka aplikasi Workbench Ansys > pada Toolbox pilih *Static Structural*. Lalu memasukan *material properties* dan juga membuat *set-up* untuk simulasi.



(a)



(b)

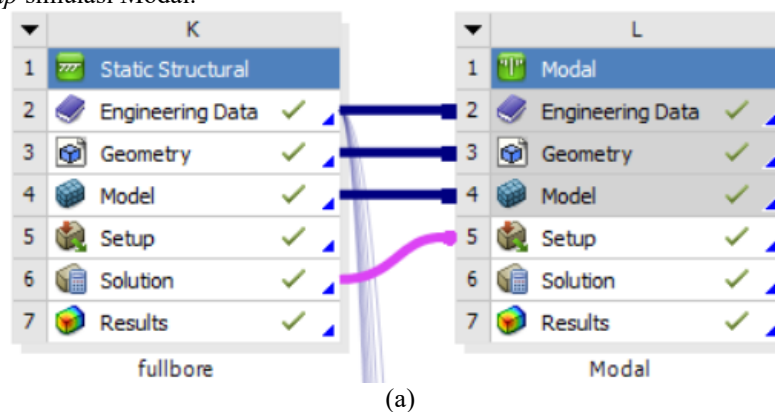


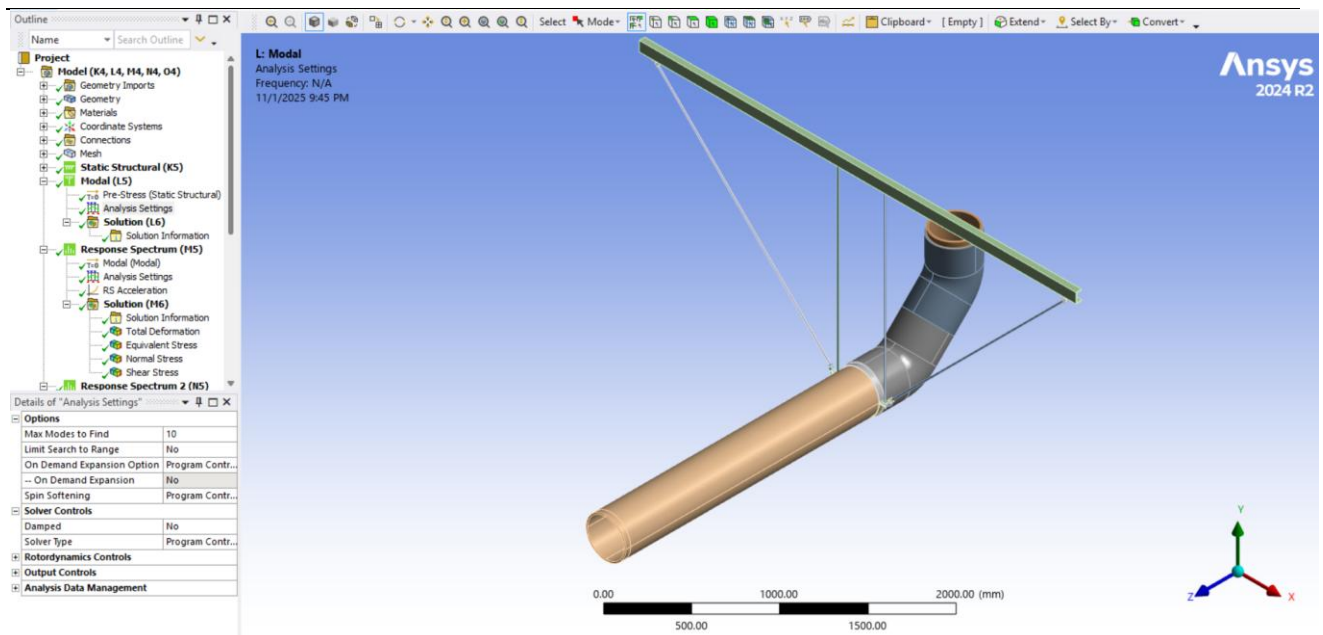
Gambar 1. (a) *Static Structural*; (b) *Import Geometry*; (c) *Pemodelan 3D Braket Pipa Shiponic Drainage System*; (d) *Hasil Mesh Sizing dan Mesh Methode*; (e) *Setting Contact*

Simulasi pada pemebanan statis dilakukan dengan kondisi batas sebagai berikut, menambahkan distribusi massa 100kg yang diasumsikan sebagai volume air di dalam pipa, menambahkan *fix support* pada bagian atas dan menambahkan *cylindrical support* di kedua ujung pipa agar dapat bergerak secara axial. Tidak ketinggalan ditambahkan juga nilai *standart earth gravity*.

2.2 Simulasi Modal

Langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi Modal, pada simulasi modal ini ditujukan untu mencari frekuensi pribadi dari struktur braket pipa *shiponic drainage system* dan juga untuk mencari mode getar dari mode *shapes* dari struktur braket pipa itu sendiri. Dimana sebelum melakukan simulasi Modal, pastikan hasil dari simulasi *static structural* terhubung dengan *set-up* simulasi Modal.





(b)

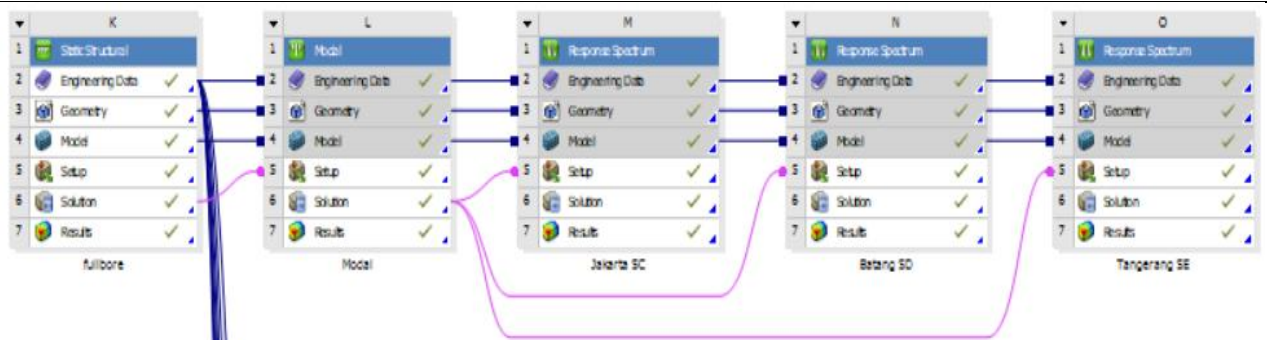
Gambar 2. (a) Skema Simulasi Modal; (b) Display Simulasi Modal

2.3 Simulasi *Response Spectrum*

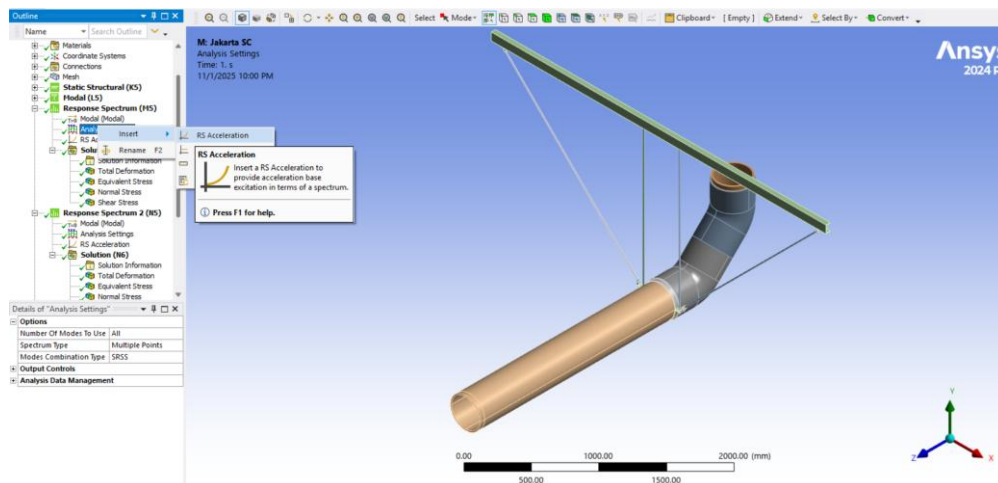
Setelah mendapat nilai frekuensi pribadi dari braket pipa *shiponic drainage system* yang didapat dari simulasi Modal, langkah selanjutnya adalah simulasi *response spectrum*. Pada simulasi ini ditujukan untuk mencari tahu efek beban gempa yang diterima oleh braket pipa. Beban gempa yang diinputkan adalah beban gempa dari 3 Kota, Jakarta, Batang dan Tangerang, dan masing-masing kelas tanah keras (SC), tanah sedang (SD), dan tanah lunak (SE).

Jakarta (SC/Tanah Keras)				Batang (SD/Tanah Sedang)				Tangerang (SE/Tanah Lunak)			
F(Hz)	T(s)	Sa(g)	Sa(mm/s ²)	F(Hz)	T(s)	Sa(g)	Sa(mm/s ²)	F(Hz)	T(s)	Sa(g)	Sa(mm/s ²)
0.05	20	0.019	186.39	0.05	20	0.02	196.2	0.05	20	0.032	313.92
0.08	12.5	0.0304	298.224	0.08	12.5	0.032	313.92	0.08	12.5	0.0512	502.272
0.1	10	0.038	372.78	0.1	10	0.04	392.4	0.1	10	0.064	627.84
0.15	6.66667	0.057	559.17	0.15	6.66667	0.06	588.6	0.15	6.66667	0.096	941.76
0.2	5	0.076	745.56	0.2	5	0.08	784.8	0.2	5	0.128	1255.68
0.25	4	0.095	931.95	0.25	4	0.1	981	0.25	4	0.16	1569.6
0.333	3.003	0.12654	1241.36	0.333	3.003	0.1332	1306.692	0.333	3.003	0.21312	2090.71
0.5	2	0.19	1863.9	0.5	2	0.2	1962	0.5	2	0.32	3139.2
0.667	1.49925	0.25346	2486.44	0.667	1.49925	0.2668	2617.308	0.667	1.49925	0.42688	4187.69
0.833	1.20048	0.31654	3105.26	0.833	1.20048	0.3332	3268.692	0.833	1.20048	0.53312	5229.91
1	1	0.38	3727.8	1	1	0.4	3924	1	1	0.64	6278.4
1.11	0.9009	0.4218	4137.86	1.11	0.9009	0.444	4355.64	1.11	0.9009	0.67	6572.7
1.25	0.8	0.475	4659.75	1.25	0.8	0.5	4905	1.25	0.8	0.67	6572.7
1.428	0.70028	0.54264	5323.3	1.428	0.70028	0.53	5199.3	1.428	0.70028	0.67	6572.7
1.667	0.59988	0.63	6180.3	1.667	0.59988	0.53	5199.3	1.667	0.59988	0.67	6572.7
2	0.5	0.63	6180.3	2	0.5	0.53	5199.3	2	0.5	0.67	6572.7
2.5	0.4	0.63	6180.3	2.5	0.4	0.53	5199.3	2.5	0.4	0.67	6572.7
3.333	0.30003	0.63	6180.3	3.333	0.30003	0.53	5199.3	3.333	0.30003	0.67	6572.7
5	0.2	0.63	6180.3	5	0.2	0.53	5199.3	5	0.2	0.67	6572.7
6.667	0.14999	0.63	6180.3	6.667	0.14999	0.52998	5199.144	6.667	0.14999	0.58535	5742.31
10	0.1	0.567	5562.27	10	0.1	0.424	4159.44	10	0.1	0.47958	4704.67
13.33	0.07502	0.48831	4790.31	13.33	0.07502	0.37104	3639.9	13.33	0.07502	0.42672	4186.16
18	0.05556	0.427	4188.87	18	0.05556	0.32978	3235.12	18	0.05556	0.38554	3782.19
23	0.04348	0.38896	3815.66	23	0.04348	0.30417	2983.946	23	0.04348	0.35999	3531.51

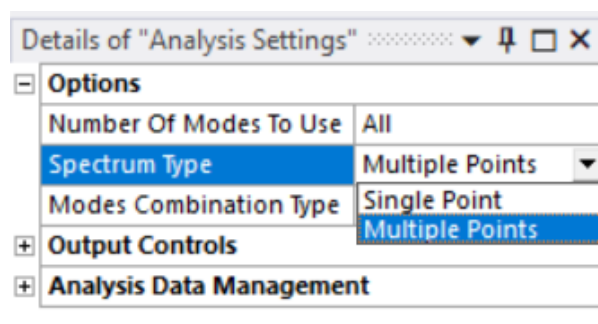
(a)



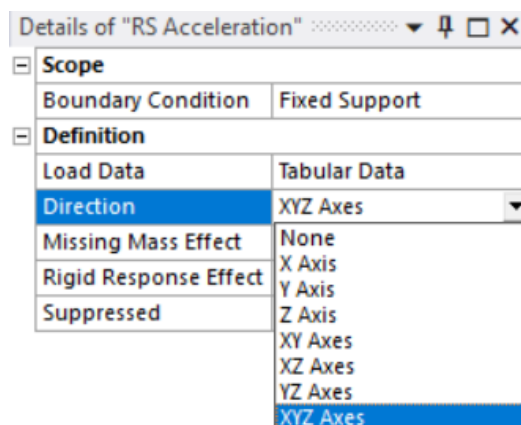
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 3. (a) Data Beban Seismik; (b) Simulasi *Response Spectrum*; (c) *RS Acceleration*; (d) *Set-up*; (e) *Axes*

2.4 Improvisasi Desain

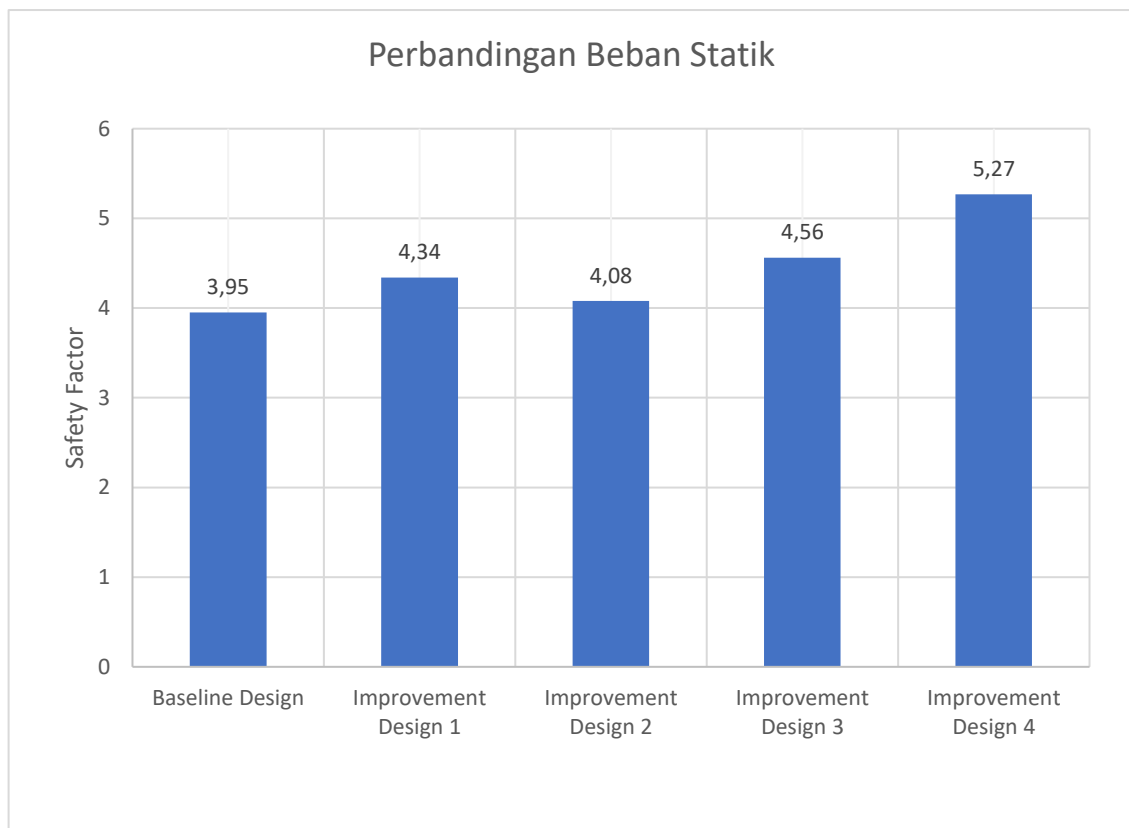
Setelah mengetahui hasil simulasi *response spectrum* atau efek gempa yang diterima oleh struktur braket pipa *shiponic drainage system*. Improvisasi desain yang dilakukan berdasarkan kondisi desain braket pada saat simulasi, yakni dengan menambah ketebalan atau lebar permukaan bagian yang menerima *stress* yang paling tinggi. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan performa braket pipa dalam menahan beban operasional (beban statis) dan beban seismic.

3. Pembahasan Hasil Pengujian

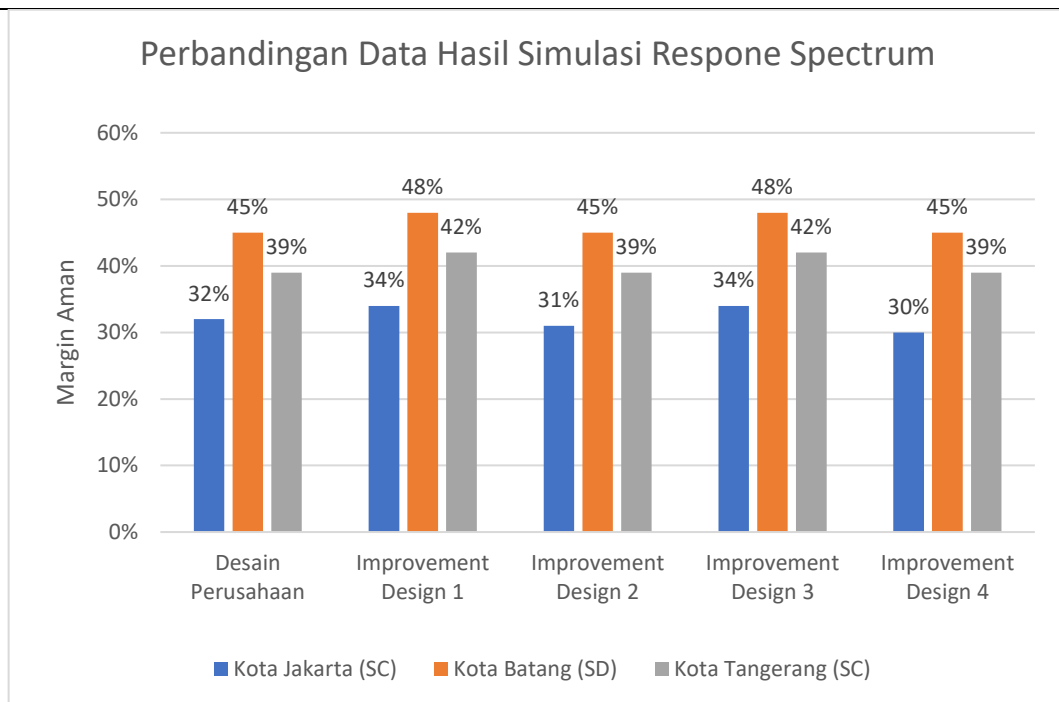
Berikut adalah hasil pembahasan dari seluruh rangkaian keberjalanan penelitian. Mulai dari hasil ketahanan braket pipa dari beban operasional (beban statis) dan beban gempa.

Beban Statik					
	<i>Baseline Design</i>	<i>Improvement Design 1</i>	<i>Improvement Design 2</i>	<i>Improvement Design 3</i>	<i>Improvement Design 4</i>
Safety Factor (Equivalent stress)	3,95	4,34	4,08	4,56	5,27
Total Deformasi (mm)	3,477	3,6112	3,4487	3,6193	3,6579

Gambar 4. Hasil Simulasi *Static Structural*



Gambar 5. Grafik Perbandingan Nilai *Safety Factor*



Gambar 6. Perbandingan Nilai Margin Aman

Berdasarkan Gambar 4 dan 5 di atas, terlihat bahwa setiap improvement design yang dilakukan mampu meningkatkan nilai safety factor dibandingkan desain awal (baseline design). Nilai safety factor pada baseline design sebesar 3,95 mengalami peningkatan pada setiap tahap pengembangan, yaitu menjadi 4,34 pada Improvement Design 1, 4,08 pada Improvement Design 2, 4,56 pada Improvement Design 3, dan mencapai nilai tertinggi sebesar 5,27 pada Improvement Design 4. Peningkatan nilai safety factor ini menunjukkan bahwa modifikasi geometri yang dilakukan berhasil memperkuat struktur terhadap beban statik yang diterapkan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa proses perbaikan desain yang dilakukan efektif dalam meningkatkan kemampuan struktur untuk menahan beban operasional, serta memberikan margin keamanan yang lebih tinggi dibandingkan desain awal.

Pada Gambar 6 di atas, menunjukkan perbedaan dan perbandingan margin aman dari struktur braket pipa *shoponic drainage system*. Parameter yang menyebabkan perbedaan hasil margin aman tersebut diantaranya, klasifikasi tanah atau kelas tanah yakni tanah keras, tanah sedang dan tanah lunak. Selain itu parameter lain yang mempengaruhi ialah, nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) yang berbeda-beda dari tiap Kota. Perbedaan nilai PGA tersebut mengakibatkan perbedaan nilai *Spectral Acceleration* (SA) atau percepatan gempa, maka dari itu nilai percepatan gempa yang diterima struktur berbeda pada tiap Kotanya. Perbedaan terakhir yang mempengaruhi perbedaan nilai margin aman ialah frekuensi pribadi dari tiap desain, baik pada *Baseline Design*, *Improvement Design 1*, *Improvement Design 2*, *Improvement Design 3* dan *Improvement Design 4*. Masing-masing dari tiap design memiliki frekuensi yang berbeda. Hal tersebut dikarenakan perbedaan massa dan juga perbedaan kekakuan yang ada pada tiap desain, dimana ketika ada perbedaan massa dan juga kekakuan dari suatu struktur dapat mempengaruhi perubahan nilai frekuensi pribadinya.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat dihasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil pembebanan statik pada braket pipa dengan beban distribusi masa sebesar 100kg dan kondisi batas sesuai dengan bahasan pada bab sebelumnya yakni, berupa *fix support*, *standart earth gravity*, *cylindrical support* dll, diperoleh nilai *safety factor* sebesar 3,95.
2. Diperoleh juga hasil simulasi response spectrum yakni berupa nilai margin aman untuk Kota Jakarta klasifikasi tanah keras (SC) sebesar 32%, margin aman untuk Kota Batang sebesar 45% dan untuk Kota Tangerang memiliki margin aman sebesar 39%.
3. Dari hasil improvisasi desain yang telah dilakukan dari ke-empat desain memiliki nilai *safety factor* yang lebih tinggi dari desain awal, yakni untuk desain improvisasi 1 memiliki *safety factor* sebesar 4,34, desain improvisasi 2 sebesar 4,08, desain ke-3 sebesar 4,56 dan untuk desain improvisasi ke-4 sebesar 5,27.
4. Dan untuk ketahanan terhadap beban seismik, 2 dari 4 desain mampu memiliki performa yang lebih unggul dari desain awal yakni desain improvisasi 1 dan 3. Dimana keduanya sama-sama memiliki margin aman 35% untuk Kota Jakarta (SC), 48% margin aman untuk Kota Batang (SD) dan margin aman 42% untuk Kota Tangerang (SC).

5. Daftar Pustaka

- [1] Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2019). *Data Curah Hujan Rata-Rata Tahunan Indonesia Periode 1981–2018*. BMKG.
- [2] Garrett, R.E. (1991) “Principles of Siphons.”
- [3] Fucik, D. and Rucka, J.A.N. (2019) “Tinjauan sistem drainase atap sifonik,” pp. 3683–3694.
- [4] Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (n.d.). *Informasi Gempa Bumi dan Tsunami di Indonesia*. BMKG.
- [5] Subagja, K. (2020) “EVALUASI KINERJA DRAINASE SIPHON MENGGUNAKAN MODEL PERCOBAAN LABORATORIUM DAN PENDEKATAN ANALITIKAL,” pp. 1–4.
- [6] Priestley, M. J. N., Calvi, G. M., & Kowalsky, M. J. (2007). *Displacement-based seismic design of structures*. IUSS Press.
- [7] Chopra, A. K. (2012). *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering* (4th ed.). Pearson Education.
- [8] Valdés-Vázquez, J. A., Cruz-Rodríguez, J. E., Flores-Cruz, A., & Torres-Rodríguez, C. J. (2021). Dynamic Analysis and Simulation of Structures Subjected to Different Dynamic Loads: A Review. *Applied Sciences*, 11(18), 8683.
- [9] Sunardi, & Nugraha, F. (2023). Tinjauan Percepatan Puncak Tanah (PGA) sebagai Parameter Kunci dalam Perancangan Struktur Tahan Gempa.
- [10] Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019: Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*. BSN.
- [11] Setiawan, B., & Djunaedi. (2023). *Mekanika Material Lanjutan: Konsep Deformasi Elastis dan Plastis*.
- [12] Son, D., Kim, B., Kim, H., & Lee, S. (2017). Vibration analysis and resonance phenomenon in civil engineering structures.
- [13] Fatchurrohman, M. Z., et al. (2017). Evaluasi Kualitas Mesh pada Analisis Finite Element Method (FEM): Orthogonal Quality dan Skewness.