

Artikel

Desain Dinding Tangki Tahan Gempa: Evaluasi dan Perbandingan Pendekatan dengan dan tanpa Gaya Seismik

Atteroni Pratomo, Jesica Elizabeth Marchelina*, Alvaron Pratomo, Andrew Joewono, Lusya Permata Sari Hartanti

Program Studi Profesi Insinyur Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, Kalijudan 37, Surabaya 60114, Jawa Timur, Indonesia.

*Corresponding author: elizabethjesica88@gmail.com

Abstrak: Struktur tangki adalah struktur yang berisikan cairan yang apabila mengalami kerusakan, dapat mencemari dan merusak lingkungan sekitar. Untuk menghasilkan struktur tangki yang berkelanjutan, struktur harus kuat menerima semua pembebanan yang ada, salah satunya gaya gempa. Namun, pertimbangan akan gaya gempa yang dihasilkan oleh cairan di dalam tangki, sebagaimana dijelaskan pada ACI 350.3-20, sering terabaikan. Tujuan penelitian ini adalah meneliti seberapa besar pengaruh gaya gempa pada desain struktur tangki. Gaya gempa akan diambil dari data historis di Taiwan dari tahun 2021 sampai dengan 2024. Metode clustering, seperti Elbow Method, Silhouette Score, dan Davies Bouldin Score (DBI), digunakan untuk mengidentifikasi jumlah cluster yang optimal. Cluster dibagi menjadi 4 grup berdasarkan PGA (Peak Ground Acceleration), dengan PGA pada cluster 2 di Taoyuan City digunakan sebagai beban gempa optimal. Kota Taoyuan dipilih karena sesuai dengan letak geografis dari proyek yang digunakan. Dinding tangki dirancang menggunakan prosedur dalam ACI 350.3-20 dan ACI 318-19, dengan ukuran tangki air dari proyek Mass Rapid Transit (MRT) di Taiwan. Perbandingan dilakukan antara desain yang mempertimbangkan dan tidak mempertimbangkan gaya gempa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mempertimbangkan ACI 350.3-20 menyebabkan peningkatan signifikan dalam moment dan shear pada dinding tangki (*moment force* 67 kN-m dibandingkan 20 kN-m, dan *shear force* 55 kN dibandingkan 19 kN). Namun, tulangan baja yang dibutuhkan tetap minimum sesuai ACI 318-19, yang mengindikasikan bahwa dimensi tangki masih relatif kecil. Pada tangki dengan dinding lebih tinggi, kebutuhan tulangan akan melampaui batas minimum, menjadikan ACI 350.3-20 krusial untuk menghasilkan desain yang lebih kritis dan aman. Kontribusi penelitian ini adalah menunjukkan pentingnya penggunaan beban gempa dalam peraturan ACI 350.3-20 untuk ketahanan gempa dan keamanan lingkungan, penggunaan metode clustering untuk mengidentifikasi PGA optimal dan mengurangi repetisi perhitungan desain di berbagai wilayah. Hasil perhitungan ini dapat diterapkan di 61 District di Taiwan yang memiliki Persentil-75 PGA 140.83, sehingga meningkatkan efisiensi dan konsistensi dalam desain struktur tangki air.

Keywords: Gaya Gempa; Desain Struktur Tangki Keberlanjutan; *Elbow Method*; *Silhouette Score*; *Davies Bouldin Score*

1. Pendahuluan

Struktur bangunan tangki adalah struktur bangunan dinding yang khusus karena beban di dalam struktur bangunan tangki adalah cairan (bisa berupa air, cairan kimia, dan lain sebagainya). Material yang terkandung di dalam tangki tersebut akan memberikan tekanan

hidrostatik pada dinding tangki dan terkadang merupakan cairan berbahaya yang akan merusak lingkungan apabila tangki mengalami kebocoran (Alfanda and Farouk, 2017). Dalam proyek *Mass Rapid Transit* (MRT) di Indonesia, Kementerian Perhubungan Republik Indonesia (2023) menuliskan bahwa tangki air juga dibutuhkan sebagai penampung air bersih dari

PDAM dan dipakai untuk aktivitas pada saat MRT beroperasi, seperti pencucian kereta di stasiun depot. Melihat peran penting dari tangki air, struktur bangunan tangki tidak bisa di desain dengan peraturan desain bangunan dinding beton pada umumnya.

Desain struktur bangunan tangki lebih kompleks bila dibandingkan dengan bangunan atau jembatan. Gaya dinamis yang disebabkan oleh cairan di dalam tangki dan gaya eksternal tangki yang disebabkan oleh tanah, dalam kasus tangki bawah tanah, menyebabkan kompleksitas dari desain bangunan tangki (Seyed & Sherif, 2023).

Workeluel et al. (2023) menyediakan perbandingan komprehensif antara tegangan melingkar (*hoop stress*) dan gaya meridional (*meridional thrust*) yang diperoleh dari berbagai peraturan menggunakan simulasi membran, dan menyimpulkan bahwa ACI-350 adalah yang paling tahan lama dan dapat diandalkan untuk merancang tangki beton bertulang dibandingkan dengan peraturan desain gempa lain yang diperbandingkan. Eraky et al. (2024) juga menunjukkan bahwa prediksi model *Finite Element Method* (FEM) mengenai perilaku struktur atau sistem dalam mode impulsif lebih konsisten dengan pedoman dan formula yang disediakan oleh ACI 350.3-20. Dengan demikian, peraturan ACI-350 akan digunakan sebagai dasar utama untuk menghitung desain struktur tangki air dalam penelitian ini.

Berdasarkan *American Concrete Institute* (ACI) *Committee* 350.3, dituliskan bahwa bangunan struktur tangki harus didesain dengan memperhitungkan beberapa faktor, diantaranya adalah faktor beban, kondisi lingkungan sekitar bangunan, dan daya layan yang lebih ketat dibandingkan jenis struktur bangunan yang lain. Selain itu, ACI 350.3 juga menuliskan bahwa untuk mendapatkan daya layan yang baik, struktur bangunan tangki harus memilih bahan dari komponen bangunan dengan benar, desain dari setiap komponen bangunan dengan benar, dan memperhatikan proses konstruksi bangunan tangki dengan benar. Oleh sebab itu, desain struktur yang baik dan benar menjadi salah satu faktor yang sangat mempengaruhi bangunan tangki agar dapat berfungsi dengan baik dan berkelanjutan.

Pengidentifikasi beban sangat penting dalam mewujudkan struktur bangunan yang baik. Beban gempa merupakan beban yang seringkali diabaikan dalam desain tangki. Sejak pertama kalinya ditemukan bahwa pergerakan dinamis dari cairan juga turut disebabkan oleh gempa bumi oleh Housner (1957), berbagai macam penelitian dilakukan untuk memasukkan pengaruh pergerakan dinamis pada bangunan tangki berisi cairan. Mulai dari pemodelan dengan menggunakan metode analisis Rayleigh-Ritz (Koh et al., 1996), *finite element* dengan metode *boundary element coupled* (BEM-FEM) (Koh et al., 1998), *finite element* dengan metode *Smooth Particle Hydrodynamics* (SPH-FEM) (Moslemi et al., 2019), dan non-linear finite element dengan metode Quasi-static approach (Wunderlich & Seiler, 2000).

Strand & Faltinsen (2017) melakukan penelitian tentang simulasi pemodelan pergerakan dinamis cairan pada 2D dinding tank secara linear dengan menyederhanakan pergerakan dinamis ke dalam beban linear. Melalui penelitian tersebut, diperoleh kesimpulan bahwa asumsi tersebut dapat digunakan dan menghemat waktu dalam menjalankan simulasi analisis. ACI 350.3 memaparkan cara perhitungan beban gempa untuk struktur bangunan tangki dalam berbagai bentuk (tangki berbentuk segiempat atau lingkaran, tangki dengan dinding beton prestressed, dan sebagainya). Namun, belum ada studi yang mencari tentang efek dari pengabaian beban gempa pada desain tangki.

Data gempa harus lengkap dan tersusun dengan baik untuk dapat menunjang hasil penelitian. Salah satu negara dengan intensitas gempa yang tinggi adalah Taiwan. Berdasarkan data dari *Central Weather Bureau* (CWB), dalam kurun waktu 1991-2006, terjadi kurang lebih 18,500 gempa per tahun, dengan 51 gempa yang terasa per hari (Lin et al., 2022). Taiwan juga memiliki pencatatan gempa yang lengkap dan sudah dimulai sejak 1898 sehingga sangat baik dipakai sebagai acuan penelitian (Hsieh et al., 2020).

Kontribusi penelitian ini adalah untuk mengetahui signifikansi pengaruh beban gempa yang dihasilkan oleh cairan di dalam tangki terhadap desain struktur dinding tangki, yang dapat dicapai dengan melakukan komparasi

hasil dengan atau tanpa memperhitungkan beban gempa akan dilakukan. Beban gempa akan diambil dari data aktual historis gempa di Taiwan dengan periode 2021-2024 dan dilakukan klasterisasi menggunakan metode *K-Means* yang terbukti efisien digunakan dalam berbagai bidang termasuk klasterisasi data gempa (Ji et al., 2019), (Shafapourtehrany et al., 2022), (Ding et al., 2024). Perhitungan struktur dapat digunakan untuk pembangunan tangki di beberapa wilayah di Taiwan. Integrasi klasterisasi dan perhitungan struktur diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi repetisi dalam perhitungan analisa struktur. Berdasarkan hasil pengolahan data historis, konfigurasi struktur kemudian akan dihitung, sesuai dengan metodologi pada Bab 2. Hasil dari penelitian dapat dilihat pada Bab 3.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Metodologi Penelitian

Sebuah bangunan tangki akan dianalisa dengan dan tanpa memperhitungkan beban gempa. Beban gempa akan diambil secara aktual dan akan dihitung berdasarkan *real-data*. Kemudian algoritma *Machine Learning K-Means* akan digunakan untuk mengelompokkan data gempa di Taiwan. Dalam proses mencari jumlah *cluster* yang paling optimal metode yang digunakan antara lain adalah *Elbow Method* (Sammouda and El-Zaart, 2021), *Silhouette Score* (Shutaywi and Kachouie, 2021), *Davies Bouldin Score (DBI)* (Buananta et al., 2024). Setelah dikelompokkan menggunakan jumlah *cluster* yang paling optimal kemudian Persentil 75 akan digunakan untuk menghitung *Peak Ground Acceleration* (PGA) untuk setiap *cluster*. Salah satu alasan mengapa persentil ke-75 dari PGA digunakan untuk menghitung desain struktur di setiap *cluster* adalah untuk memastikan kestabilan dan ketahanan bangunan terhadap guncangan gempa yang lebih tinggi dari rata-rata. Dalam konteks desain struktural, memilih persentil yang lebih tinggi seperti persentil ke-75 membantu dalam memperhitungkan skenario gempa yang lebih kuat yang memiliki potensi untuk terjadi. Hal ini penting untuk memastikan bahwa struktur yang dibangun memiliki kapasitas yang memadai untuk tetap berdiri dan berfungsi dengan baik selama gempa besar, sehingga mengurangi risiko kerusakan atau korban jiwa. Dengan demikian, penggunaan persentil ke-75 dari PGA dalam perhitungan

desain memberikan pendekatan yang lebih konservatif dan aman untuk ketahanan bangunan terhadap gempa.

Parameter beban gempa yang didapatkan adalah dalam bentuk nilai PGA gempa, yang selanjutnya nilai PGA akan dikonversi ke dalam nilai parameter percepatan respon spektral pada periode 1 detik, S_1 , dan nilai parameter percepatan respon spektral pada periode pendek, S_s . Nilai S_1 dan S_s akan digunakan untuk mendesain tangki.

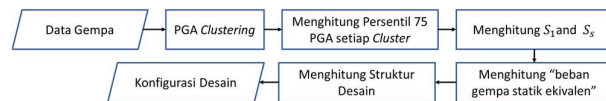
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Lubkowski & Aluisi (2012), nilai PGA dapat di konversi ke dalam nilai S_1 dan S_s dengan menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2.

$$\frac{S_s}{PGA} = 0.3386 PGA + 2.1696 \quad (2.1)$$

$$\frac{S_1}{PGA} = 0.5776 PGA + 0.5967 \quad (2.2)$$

Hasil desain *flexural* dan *shear* akan dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dengan tanpa memperhitungkan parameter gempa. Desain terhadap beton bertulang akan mengacu pada ACI 318-19. Pemodelan beban gempa akan mengacu pada ACI 350.3-20.

Secara keseluruhan, metodologi penelitian dapat disimpulkan dengan *flowchart* pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Flowchart Metodologi Penelitian

2.2. Idealisasi Struktur dan Pembebanan

Beban gempa yang dihasilkan oleh cairan yang berada di dalam tangki akan menambah beban lateral pada struktur sehingga dinding pada tangki diasumsikan akan secara langsung menerima beban gempa tersebut. Dalam artikel ini, studi perbandingan akan dilakukan hanya pada dinding tangki dengan mengasumsikan dinding tangki terjepit pada pelat bawah tangki dan bebas pada bagian atas tangki (*fixed-free*). Pengaruh dari pelat beton pada bagian atas dan bawah tangki tidak diperhitungkan dalam analisa. Idealisasi struktur dapat dilihat pada

Gambar 2.2. Kondisi yang diperhitungkan dalam analisa adalah pada saat tangki terisi penuh oleh air.



Gambar 2.2 Pemodelan *Fixed-Free*

2.3. Data Parameter

Data diambil dari proyek *MRT Green Line* stasiun G01, Taoyuan City, Taiwan. Tangki air dibutuhkan untuk menampung air bersih yang akan dibutuhkan pada saat MRT beroperasi. Ukuran tangki adalah 8.00 m X 5.15 m X 2.10 m dengan ketinggian air maksimum setinggi 1.70 m. Tebal dinding beton tangki yang digunakan adalah sebesar 250 mm. Sedangkan tebal pelat beton tangki adalah sebesar 200 mm. Berat jenis air bersih 1.00 ton/m³.

Mutu beton bertulang yang dipakai adalah K30 dengan berat jenis 2.40 ton/m³. Tegangan leleh tulangan baja yang digunakan adalah 400 MPa.

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Pengambilan Beban Gempa

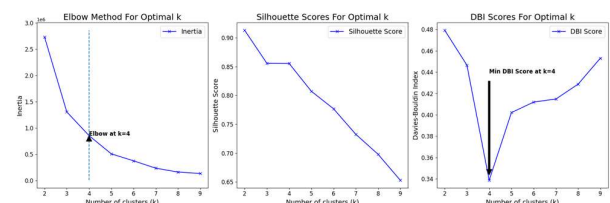
Data gempa diambil dari *website Central Weather Administration (CWA)*. Data yang diambil adalah data dari tahun 2021-2024. Data ini meliputi 2354 entri data dari 146 stasiun, dan 22 kota. Gambar 3.1 merupakan ilustrasi terkait lokasi dari data yang dikumpulkan disertai dengan nilai PGA yang diwakilkan oleh warna biru dengan interpretasi semakin gelap warna biru yang ada pada gambar, maka semakin besar PGA pada area itu. Data yang dikumpulkan adalah data gempa yang memiliki episenter di kota Hualien. Hualien merupakan kota yang paling sering menjadi pusat gempa. *Clustering* dilakukan untuk pemetaan kekuatan gempa, karena dampak kekuatan gempa di setiap daerah akan berbeda tergantung dari jarak dari episenter, kondisi geologis dan infrastruktur perkotaan.

Pada Gambar 3.2, proses pencarian jumlah *Cluster* yang optimal dilakukan dengan menggunakan semua metode dan dapat

disimpulkan bahwa bahwa 4 *Cluster* adalah yang paling optimal. *Elbow Method* adalah teknik untuk menentukan jumlah *Cluster* optimal dalam algoritma K-Means dengan mengamati perubahan inerti atau *Sum of Squared Distances (SSD)*. Dalam kasus ini ditemukan *cluster* paling optimal adalah k=4 menggunakan *knee locator* dengan Python, berarti titik siku (*elbow*) dari grafik inerti berada pada k=4, menunjukkan bahwa penambahan *cluster* setelah titik ini tidak memberikan penurunan inerti yang signifikan.



Gambar 3.1 Peta Distribusi Data Peak Ground Acceleration (PGA) di Taiwan.



Gambar 3.2 Pencarian Jumlah *Cluster* yang Optimal

Silhouette score adalah metrik yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas *cluster* dalam analisis *clustering*, dengan nilai berkisar antara -1 hingga 1, di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan bahwa data lebih terkelompokkan dengan baik. Nilai yang lebih tinggi menunjukkan bahwa objek berada lebih dekat ke pusat *cluster*-nya dibandingkan ke *cluster* lainnya. *Silhouette Score* menggabungkan dua

faktor: kedekatan objek dengan *cluster* yang sama dan jarak objek ke *cluster* terdekat yang berbeda. Nilai *Cluster 2* terlihat memiliki *Silhouettes Score* yang tinggi, namun hal ini berlawanan dengan kesimpulan *Elbow Method* dan *DBI scores* sehingga nilai ini akan diabaikan. Dalam eksperimen ini, nilai *silhouette score* mulai menurun setelah $k=4$, menandakan bahwa jumlah *Cluster* optimal kemungkinan adalah 4. *Davies-Bouldin Index* (DBI) adalah metrik yang mengukur kualitas *cluster* dengan mempertimbangkan rasio antara intra-cluster dan inter-cluster jarak. Nilai DBI yang lebih rendah menunjukkan *cluster* yang lebih baik dan lebih terpisah. Dalam eksperimen ini, DBI terendah yaitu 0.34 ditemukan pada $k=4$, menunjukkan bahwa pemisahan dan kualitas *cluster* terbaik adalah pada $k=4$. Kesimpulannya, dengan konsistensi dari metode *elbow*, nilai *silhouette score* yang optimal, dan nilai DBI terendah, $k=4$ adalah jumlah *cluster* optimal pada eksperimen ini.

Persentil ke-75 adalah nilai dalam distribusi data di mana 75% dari data berada di bawah nilai tersebut dan 25% berada di atasnya. Menggunakan persentil ke-75 untuk menghitung PGA di setiap *cluster* adalah pilihan yang baik karena memberikan pendekatan yang lebih konservatif dan aman dalam perancangan struktur. Dengan mempertimbangkan nilai PGA yang sedikit lebih tinggi, kita dapat memastikan bahwa desain struktur dapat menahan guncangan gempa yang lebih kuat dari median, sehingga meningkatkan ketahanan dan keamanan bangunan terhadap kejadian gempa yang jarang tetapi signifikan. Tabel 3.1 menunjukkan nilai persentil 75 pada setiap *cluster*.

Tabel 3.1 Hasil Perhitungan Persentil ke 75 pada PGA untuk setiap *Cluster*

Cluster	Persentil-75 PGA	Jumlah District/ Township
0	13.36	78
1	478.51	15
2	140.83	61
3	1102.01	1

3.2. Hasil Analisa Dinding Tangki

Melalui hasil perhitungan persentil ke 75 pada PGA untuk setiap *cluster*, pada penelitian ini akan digunakan PGA pada *cluster 2*. Hal ini disebabkan PGA di *cluster 2* adalah PGA yang terletak di Taoyuan City. Setelah mendapatkan PGA di daerah Taoyuan City, beban gempa optimal digunakan untuk mendesain dinding tangki. Hasil perbandingan desain dengan dan tidak mempertimbangkan ACI 350.3 dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Hasil Perbandingan Dinding Tangki

Output	Hasil Dengan ACI 350.3	Hasil Tanpa ACI 350.3
Moment, M_u (kN-m)	67	20
Tulangan yang digunakan	D16@250	D16@250
Shear, V_u (kN)	55	19

Hasil menunjukkan bahwa dengan menggunakan ACI 350.3-20, gaya dalam yang dihasilkan struktur, *moment* dan *shear*, akan meningkat secara signifikan. Namun, tulangan baja yang dibutuhkan adalah tulangan minimum, sesuai dengan aturan pada ACI 318-19. Hal ini mengindikasikan bahwa dimensi dari tangki air relatif kecil sehingga tulangan longitudinal yang dibutuhkan lebih kecil daripada batas minimum. Pada tangki lain dengan dinding yang lebih tinggi, tulangan yang dibutuhkan akan melebihi kebutuhan tulangan minimum sehingga dengan memperhitungkan ACI 350.3-20, hasil tulangan longitudinal yang dibutuhkan akan lebih besar.

4. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut.

1. Penggunaan ACI 350.3-20 dalam desain tangki air sangat diperlukan untuk memperoleh efek dari gaya gempa pada struktur sehingga dapat meningkatkan aspek keberlanjutan dari struktur tangki.
2. Pada tangki berdimensi kecil, gaya gempa berpengaruh kecil terhadap desain penulangan beton. Namun, pada tangki berdimensi besar, gaya gempa berpengaruh besar terhadap desain penulangan beton.

Saran untuk penelitian berikutnya adalah sebagai berikut.

1. Penelitian dapat dilanjutkan dengan membandingkan hasil gaya gempa optimum dengan gaya gempa dari peraturan gempa nasional.
2. Penelitian dapat dilanjutkan dengan memodelkan pelat beton atas dan bawah tangki secara 3D dalam analisa *Finite Element Method* (FEM) sehingga dapat diperoleh hasil yang lebih akurat.
3. Penelitian dapat dilanjutkan dengan menggunakan dimensi tangki yang beragam dan melakukan komparasi terhadap efek perubahan dimensi terhadap tulangan yang diperlukan oleh struktur.

Kontribusi Penulis

Adapun peran dari kami yang terlibat dalam penulisan artikel ini adalah sebagai berikut.

1. Atteroni Pratomo (Penulis 1) : berdiskusi mematangkan konsep artikel, merancang metodologi, menelusuri data gempa yang digunakan untuk pembuatan artikel, melakukan pengolahan data, membuat penulisan awal dan melakukan pengecekan artikel.
2. Jesica Elizabeth Marchelina (Penulis 2) : berdiskusi mematangkan konsep artikel, merancang metodologi, melakukan analisa dan pengolahan data, membuat penulisan awal dan melakukan pengecekan artikel.
3. Alvaron Pratomo (Penulis 3) : berdiskusi mematangkan konsep artikel, merancang metodologi, menelusuri data tangki yang digunakan untuk pembuatan artikel, melakukan analisa data, membuat penulisan awal dan melakukan pengecekan artikel.
4. Andrew Joewono (Penulis 4) : berdiskusi, memberikan bimbingan, dan melakukan pengecekan artikel.
5. Lusya Permata Sari Hartani (Penulis 5) : berdiskusi, memberikan bimbingan, dan melakukan pengecekan artikel.

Konflik Kepentingan

Penulis mendeklarasikan bahwa tidak ada konflik kepentingan dalam penulisan makalah.

Daftar Pustaka

Alfanda, A. M. (2017). *Comparative Analysis of Circular and Rectangular Reinforced Concrete Tanks Based on Economical Design Perspective*. *American Journal of Applied Scientific Research*, 3(2), 14. <https://doi.org/10.11648/j.ajcsr.20170302.12>

Buananta, S. E. A., Ahmad, M. A., Mahmood, J., & Paradise, P. (2024b). *Identification of Evaluation Results in E-Banking Services Transaction for Product Recommendation using the BIRCH and Davies Bouldin Index Method*. *JURNAL INFOTEL*, 16(2), 427-440. <https://doi.org/10.20895/infotel.v16i2.1116>

Committee, A., & Institute, A. C. (2006). *Seismic Design of Liquid-containing Concrete Structures and Commentary (ACI 350.3-20): An ACI Standard*.

Committee, A. (2019). *ACI 318-19 Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19)*.

Ding, Y., Nie, M., Xu, Y., & Miao, H. (2024). *A Classification Method of Earthquake Ground Motion Records Based on the Results of K-Means Clustering Analysis*. *Buildings*, 14(6), 1831. <https://doi.org/10.3390/buildings14061831>

Directorate General of Railways Ministry of Transportation of the Republic of Indonesia. (2023, November). *Environmental Impact Analysis MASS RAPID TRANSIT (MRT) EAST - WEST LINE*. www.jica.go.jp. https://www.jica.go.jp/english/about/policy/environment/id/asia/southeast/a_bfi/indonesia/ic_sFiles/afieldfile/2023/12/13/Updated_EIA.pdf

Eraky, A., Essam, K., & Salama, A. (2024). *Evaluation of the Methodology for Seismic Analysis of Elevated Water Tanks Using Different International Codes of Practice*. *Research Square (Research Square)*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4892562/v1>

Hosseini, S. & Beskhyroun, S. (2023). *Fluid Storage Tanks : A Review on Dynamic Behaviour Modelling, Seismic Energy-dissipating Devices, Structural Control, and Structural Health Monitoring Techniques*.

Hsieh, M., Lin, Y., Ma, K., Zhao, L., & Liao, Y. (2020). *Two Earthquake Sequences Nearly a Century Apart Reveal a Conjugate Seismogenic System in Central Taiwan*. *Seismological Research Letters*, 91(3), 1469-1481. <https://doi.org/10.1785/0220190335>

Ji, K., Wen, R., Ren, Y., & Dhakal, Y. P. (2019). *Nonlinear seismic site response classification using K-means clustering algorithm: Case study of the September 6, 2018 Mw6.6 Hokkaido Iburi-Tobu earthquake, Japan*. *Soil Dynamics and*

Earthquake Engineering, 128, 105907.
<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105907>

Lubkowski, Z.A. & Aluisi, B. (2012). Deriving S_s and S_1 Parameters from PGA Maps. 15th World Conference of Earthquake Engineering, Lisbon

Lin, J., Chao, J., & Hsu, Y. (2022). Risk assessment of riverine terraces: the case of the Chenyulan River Watershed in Nantou County, Taiwan. *Applied Sciences*, 12(3), 1375.
<https://doi.org/10.3390/app12031375>

Sammouda, R., & El-Zaart, A. (2021). An Optimized Approach for Prostate Image Segmentation Using K-Means Clustering Algorithm with Elbow Method. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2021, 1–13.
<https://doi.org/10.1155/2021/4553832>

Shafapourtehrany, M., Yariyan, P., Özener, H., Pradhan, B., & Shabani, F. (2022). Evaluating the application of K-mean clustering in Earthquake vulnerability mapping of Istanbul, Turkey. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 79, 103154.
<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103154>

Shutaywi, M., & Kachouie, N. N. (2021). Silhouette Analysis for Performance Evaluation in Machine Learning with Applications to Clustering. *Entropy*, 23(6), 759. <https://doi.org/10.3390/e23060759>

Workeluel, N., Saha, P., Matiyas, S., & Mohanty, T. (2023). A comparative study on analysis and design of R. C. C elevated water tank using different country codes. *Materials Today Proceedings*.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.486>