

RESEARCH ARTICLE

Comparative Analysis of Earthquake Resistant Building Structure Design Planning Using Artificial Intelligence and SAP2000 Methods

(Analisis Perbandingan Perencanaan Desain Struktur Gedung Tahan Gempa Menggunakan Metode Artificial Intelligence dan SAP2000)

Tiara Nofiana^{1*}, Asmuni¹, Cahyadi¹, Wiwien Suzanti², Arip Ismawan¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Bina Bangsa, Jl. Raya Serang - Jakarta, KM. 03 No. 1B, Kota Serang, Banten 42124, Indonesia

²Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sutan Ageng Tirtayasa, Jl Raya Palka KM. 03 Sindangsari, Kec. Pabuaran, Kab. Serang, Provinsi Banten, Indonesia

ABSTRACT

Earthquakes are natural phenomena that often occur in Indonesia, even Indonesia is one of the countries with the highest earthquake frequency in the world, there have been several major earthquakes that have caused infrastructure damage and daimed many victims. This study aims to determine the design of earthquake-resistant building structures, the results of the application of Artificial Intelligence (AI) in design of earthquake-resistant building structures, and its advantages and disadvantages. The core principle of earthquake-resistant buildings is high ductility, allowing them to absorb earthquake energy and avoid collapse despite deformation. This research employs a comparative method, evaluating AI against conventional methods like SAP2000 in terms of accuracy, efficiency, and practicality in designing earthquake-resistant structures. The analysis reveals minimal differences, with a 0.016% variance in calculations between AI and SAP2000, which has a negligible impact on factors like mass participation ratio, base shear force, and inter-floor deviation. However, AI significantly affects the Natural Period of the Building. AI also offers faster calculations and easier input specifications compared to SAP2000. Despite its advantages, AI has limitations in 3D modeling due to the absence of a user interface, making the modeling process more challenging.

Gempa bumi adalah fenomena alam yang sering terjadi di Indonesia, bahkan Indonesia menjadi salah satu negara dengan frekwensi gempa terbanyak di dunia, tercatat terdapat beberapa gempa besar yang menyebabkan kerusakan infrastruktur serta menelan banyak korban. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui desain struktur gedung yang tahan gempa pada daerah rencana, hasil penerapan Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence*) dalam perencanaan desain struktur gedung tahan gempa, serta kelebihan dan kekurangannya. Prinsip utama gedung tahan gempa adalah dengan memiliki daktilitas yang tinggi agar dapat menyerap energi gempa, walaupun mengalami deformasi tetapi tidak sampai mengalami keruntuhan. Penelitian ini menggunakan Metode komparatif, yang akan membandingkan antara penerapan kecerdasan buatan (AI) dengan metode konvensional dalam hal akurasi, efisiensi, dan kepraktisan dalam konteks aplikasi pada perencanaan desain struktur gedung tahan gempa. Berdasarkan hasil analisis, terdapat selisih hasil atau perbedaan antara perhitungan dengan *Artificial Intelligence* dan SAP2000 dengan rata-rata sebesar 0,016% yang tidak berpengaruh banyak pada analisa rasio partisipasi massa, gaya geser dasar, simpangan antar lantai. Namun cukup berpengaruh pada Periode Alami Gedung. Selain itu AI melakukan perhitungan lebih cepat dan Penginputan spesifikasi lebih mudah dibandingkan SAP2000, namun memiliki keterbatasan dalam modeling 3D karena belum adanya *user interface* sehingga pemodelan menjadi lebih sulit.

Keywords: Earthquake-resistant building, artificial intelligence, structural design.

*Corresponding author:
Tiara Nofiana
E-mail: tiaranofiana97@gmail.com

PENDAHULUAN

Bencana gempa bumi adalah suatu fenomena alam yang sangat sering terjadi di Indonesia, bahkan Indonesia menjadi salah satu negara dengan frekwensi kejadian gempa terbanyak di seluruh dunia, dimana menurut Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) pada tahun 2023 sendiri terdapat

lebih dari 10.000 gempa di Indonesia dan 219 gempa diantaranya memiliki kekuatan lebih dari 5 magnitudo ($M > 5,0$) [1]. Menurut catatan, di Indonesia sendiri tercatat terdapat beberapa gempa besar yang menyebabkan kerusakan infrastruktur yang begitu parah serta menelan banyak korban, diantaranya seperti kasus pada Gempa Jogja yang terjadi pada tahun 2006 diperkirakan 154.000 rumah hancur total

dan 260.000 rumah rusak parah, dengan kerugian mencapai 3.134 Juta US Dolar, juga mengakibatkan lebih dari 5.700 korban jiwa.

Bangunan Gedung yang runtuh akibat gempa umumnya dibangun dengan sistem struktur beton bertulang, yang mana dalam pembangunannya masih banyak yang tidak sesuai dengan kaidah-kaidah bangunan tahan gempa [2]. Hal ini menjadi alasan betapa pentingnya mendesain struktur Gedung tahan gempa di Indonesia yang sesuai dengan peraturan SNI 1726:2019, sebagai upaya untuk meminimalisir resiko dari keruntuhan bangunan yang dapat mengakibatkan korban jiwa, serta kerugian materil lainnya[3].

Dalam beberapa tahun terakhir AI menunjukkan perkembangan yang sangat pesat dalam berbagai bidang, yang menunjukkan bahwa *Artificial Intelligence* dapat mempercepat perkembangan suatu bidang ilmu. AI melibatkan penggunaan algoritma dan model matematika untuk memungkinkan komputer dan sistem lainnya untuk belajar dari data, mengenali pola, dan membuat keputusan yang cerdas [4]. Hal ini menjadikan AI dapat memproses data secara lebih cepat serta lebih akurat, sehingga memungkinkan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dalam waktu yang lebih cepat. Tentu ini dapat di implementasikan dalam bidang Teknik sipil, misalnya untuk perencanaan bangunan tahan gempa, dimana diharapkan AI mampu menyelesaikan persoalan dengan lebih cepat serta hasil yang lebih baik [5]. Bagaimana perbandingan hasil perencanaan desain struktur gedung tahan gempa, serta kelebihan dan kekurangannya dengan menggunakan metode *artificial intelligence* dan metode biasa (SAP2000) Untuk mengetahui perbandingan hasil perencanaan antara penggunaan AI dan SAP2000 maka perlu dilakukan analisa lebih mendalam [6].

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode komparatif, dimana metode ini akan membandingkan antara penerapan kecerdasan buatan (AI) yang mana dalam hal ini adalah *machine learning* dengan metode konvensional (SAP2000) dalam hal akurasi, efisiensi, dan kepraktisan dalam konteks aplikasi pada perencanaan desain struktur gedung tahan gempa [7].

Pada penelitian ini, dilakukan training atau data pada program *machine learning* yang digunakan adalah Python. Menggunakan pemrograman Python untuk mengotomatisasi proses analisis data dan menjalankan skrip yang dibutuhkan dengan berbagai variabel dalam perencanaan struktur Gedung tahan gempa [8]. Kemudian dilakukan uji coba perencanaan desain struktur tahan gempa dengan menggunakan *machine learning* kemudian membandingkannya dengan analisa perhitungan SAP2000 [9]. Adapun variabel *output* yang diharapkan mencakup; rasio partisipasi massa, Simpangan Antar Lantai, reaksi gaya geser dasar, dan Periode Alami Struktur, yangmana batasanya mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) [10]. Berikut ini pemodelan data Gedung yang digunakan :

Model Kasus Gedung

A. Model Gedung : Kategori Resko 2

B. Faktor Keutamaan Gempa / I_e : 1

C. Lokasi : Pandeglang

D. Kelas Situs : SD - Tanah Sedang

E. Data Respon Spektra :

PGA = 0.474515 g

PGAm = 0.534059 g

Ss = 1.006734 g

S1 = 0.478472 g

TL = 20.000000 detik

Fa = 1.097306

Fv = 1.821528

Sms = 1.104696 g

Sm1 = 0.871550 g

Sds = 0.736464 g

Sd1 = 0.581034 g

T0 = 0.157790 detik

Ts = 0.788951 detik

F. Sistem Struktur : Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

G. Mutu Beton

K : K-300

f_c' : 24.9 Mpa

Modulus Elastisitas : 23452.9529 (N/mm²)

H. Kelas Baja Tulangan

Kelas Baja Tulangan : BJTS 40

Modulus Elastisitas : 200.000 (N/mm²)

Kuat Leleh Minimum : 390 (N/mm²)

Kuat Tarik Maksimum : 560 (N/mm²)

Berat Jenis : 7850 (kg/m³)

Dimensi dan Penampang Struktur

Tabel 1. Dimensi Struktur

	Tinggi /Sb.Z (M)	X1 (M)	X2 (M)	X3 (M)	X4 (M)	Y1 (M)	Y2 (M)	Y3 (M)
Dasar	0	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	2	4.5
Lantai 2	4	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	2	4.5
Lantai 3	3.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	2	4.5
Atap	3.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	2	4.5
TOTAL	12							

Tabel 2. Penampang Struktur

No	Struktur	Dimensi	
		Panjang (cm)	Lebar (cm)
1	Kolom	45	40
2	Balok Utama	20	40
3	Balok Anak	15	30
4	Plat Atap		12
5	Plat Lantai		15

Periode Struktur

Tabel 3. Periode Struktur

SRMPK				Batas	
CT	HN	X	Cu	Tmin	Tmax
0.0466	12	0.9	1.4	0.436163	0.610628

Tabel 4. Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismic

Koefisien modifikasi respons, R_a	Faktor kuat Lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c
8	3	5½

Perhitungan Skala Gempa :

I : 1

g : 9.81

R: 8

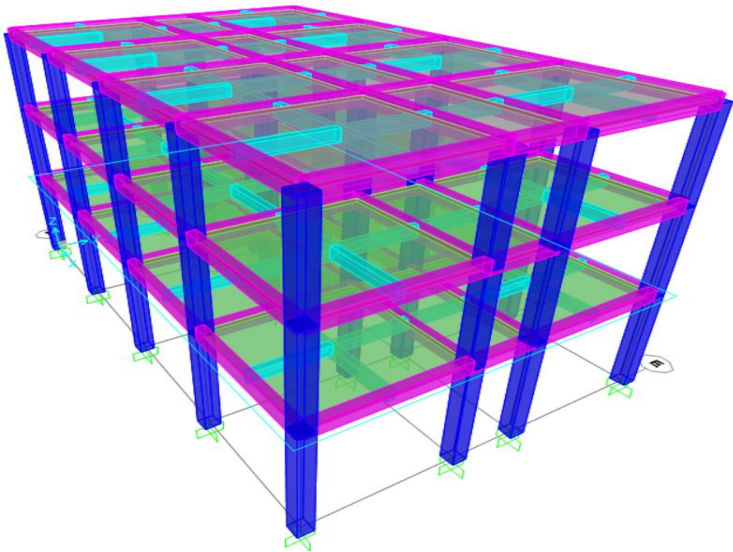
SF : 1.22625

Tabel 5. Pembebanan

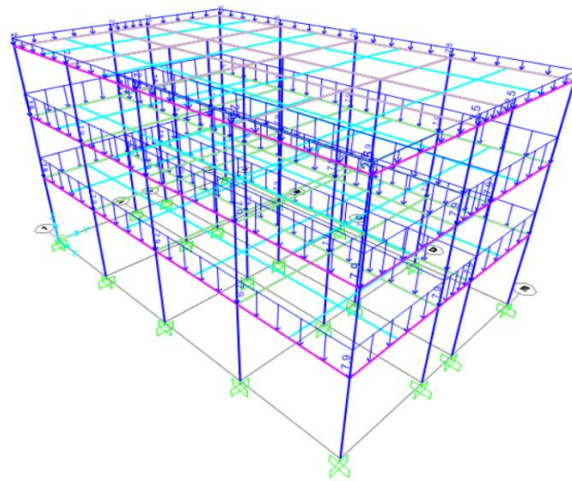
Beban Mati Tambahan	Nilai	SATUAN
Beban mati tambahan pada lantai	1.51	Kn/m ²
Beban mati tambahan pada atap	0.73	Kn/m ²
Beban mati tambahan pada balok lantai	3.59	Kn/m ²
Beban hidup pada lantai		
beban orang dan perlengkapan	3.59	Kn/m ²
Beban hidup pada lantai atap		
beban orang dan perlengkapan	1	Kn/m ²

Kombinasi Pembebanan :
SDS : 0.7365
0.2 SDS : 0.1473
1.2 + 0.2SDS : 1.35
0.9-0.2SDS : 0.7527

Komb 1	1.4	D	+	1.4	SDL									
Komb 2	1.2	D	+	1.2	SDL	+	1.6	LL						
Komb 3	1.35	D	+	1.35	SDL	+	1	LL	+	1	EDX	+	0.3	EDY
Komb 4	1.35	D	+	1.35	SDL	+	1	LL	+	1	EDX	-	0.3	EDY
Komb 5	1.35	D	+	1.35	SDL	+	1	LL	-	1	EDX	+	0.3	EDY
Komb 6	1.35	D	+	1.35	SDL	+	1	LL	-	1	EDX	-	0.3	EDY
Komb 7	1.35	D	+	1.35	SDL	+	1	LL	+	1	EDY	+	0.3	EDX
Komb 8	1.35	D	+	1.35	SDL	+	1	LL	+	1	EDY	-	0.3	EDX
Komb 9	1.35	D	+	1.35	SDL	+	1	LL	-	1	EDY	+	0.3	EDX
Komb10	1.35	D	+	1.35	SDL	+	1	LL	-	1	EDY	-	0.3	EDX
Komb11	0.75	D	+	0.75	SDL	+	1	EDX	+	0.3	EDY			
Komb12	0.75	D	+	0.75	SDL	+	1	EDX	-	0.3	EDY			
Komb13	0.75	D	+	0.75	SDL	-	1	EDX	+	0.3	EDY			
Komb 4	0.75	D	+	0.75	SDL	-	1	EDX	-	0.3	EDY			
Komb15	0.75	D	+	0.75	SDL	+	1	EDY	+	0.3	EDX			
Komb16	0.75	D	+	0.75	SDL	+	1	EDY	-	0.3	EDX			
Komb17	0.75	D	+	0.75	SDL	-	1	EDY	+	0.3	EDX			
Komb18	0.75	D	+	0.75	SDL	-	1	EDY	-	0.3	EDX			



Gambar 1. Pemodelan Struktur Gedung



Gambar 2. Beban mati tambahan struktur gedung

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan analisis menggunakan dua perbandingan menggunakan *software* SAP2000 dan *software* python untuk melihat kinerja struktur [11].

Berikut ini merupakan variabel-variabel penelitian yang akan diprediksi pada program *Machine Learning* dalam *software python* dalam penelitian ini, dengan pemodelan Gedung 3 lantai :

```
[
    "Period",
    "UX",
    "UY",
    "UZ",
    "SumUX",
    "SumUY",
    "SumUZ",
    "RX",
    "RY",
    "RZ",
    "SumRX",
    "SumRY",
    "SumRZ",
    "Dinamik (Vd) Geser Dasar (Kn arah x)",
    "Statik (Vs) Geser dasar (kN) arah X",
    "Faktor Skala vs/vd arah x",
    "Dinamik (Vd) geser dasar (Kn) arah Y",
    "Statik (Vs) Geser dasar (Kn) arah Y",
    "Faktor Skala VS/VD Arah Y",
    "Hsx (mm) ATAP",
    "dx (mm) ATAP",
    "delta x (mm) ATAP",
    "delta x ijin (mm) ATAP",
    "Hsx (mm) LANTAI 3",
    "dx (mm) LANTAI 3",
    "delta x (mm) LANTAI 3",
    "delta x ijin (mm) LANTAI 3",
    "Hsx (mm) LANTAI 2",
    "dx (mm) LANTAI 2",
    "delta x (mm) LANTAI 2",
    "delta x ijin (mm) LANTAI 2",
    "Hsx (mm) ATAP",
    "dy (mm) ATAP",
    "delta y (mm) ATAP",
    "delta y ijin (mm) ATAP",
    "Hsx (mm) LANTAI 3",
    "dy (mm) LANTAI 3",
    "delta y (mm) LANTAI 3",
    "delta y ijin (mm) LANTAI 3",
    "Hsx (mm) LANTAI 2",
    "dy (mm) LANTAI 2",
    "delta y (mm) LANTAI 2",
    "delta y ijin (mm) LANTAI 2",
    "periode alami struktur"
]
```

Berikut ini merupakan tabel hasil perbandingan analisa antara metode konvensional dengan SAP2000 dan *Artificial Intelligence* [12].

Tabel 8. Perbandingan Hasil SAP2000 dan *Machine Learning*

Keterangan	Hasil SAP2000	Hasil <i>Artificial Intelligence</i>	Selisih (%)
Rasio Partisipasi Massa X	0.99969	0.99969	0
Rasio Partisipasi Massa Y	0.99977	0.99977	0
Dinamik Geser Dasar Arah X	603	603.073	0.012104671
Dinamik Geser Dasar Arah Y	606	606.25	0.041237113
Statik Geser Dasar Arah X	603	602.977	0.003814408
Statik Geser Dasar Arah Y	602.977	602.977	0
Faktor Skala Vs/Vd Arah X	1	0.99984082	0.015920534
Faktor Skala Vs/Vd Arah Y	0.995	0.99460124	0.04009245
Dx Atap	12.77	12.773096	0.024238446
Delta X Atap	16.28	16.281287	0.007904781
Dx Lantai 3	9.81	9.812862	0.029165803
Delta X Lantai 3	27.50	27.5012485	0.004539794
Dx Lantai 2	4.81	4.812635	0.054751711
Delta X Lantai 2	26.47	26.4694925	0.001917302
Dy Atap	12.97	12.969018	0.007571892
Delta Y Atap	15.03	15.0312415	0.008259464
Dy Lantai 3	10.24	10.236065	0.038442507
Delta Y Lantai 3	27.30	27.298986	0.003714424
Dy Lantai 2	5.27	5.272613	0.049557971
Delta Y Lantai 2	29	28.9993715	0.002167288
Periode alami struktur	0.60083	0.60083	0
Rata-rata Simpangan / Selisih (%)			0.016447646

Dapat diketahui bahwa berdasarkan perbandingan pada Tabel 8 terdapat selisih atau simpangan antara hasil analisa perencanaan desain struktur Gedung tahan gempa dengan metode *Artificial Intelligence* dan SAP2000, dengan rata-rata selisih perhitungan sebesar 0.016%, yang terkecil nya adalah 0% atau sama, dan yang terbesarnya ada pada variabel simpangan antar lantai yaitu sebesar 0.054%, dimana perhitungan AI menghasilkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan SAP2000 [13]. Baik *Artificial Intelligence* dan SAP2000 mampu menghasilkan analisa perhitungan yang tidak berbeda jauh pada setiap variabel penting yang digunakan dalam menentukan ketahanan gempa suatu Gedung yang direncanakan, baik itu rasio partisipasi massa, gaya geser dasar, periode alami struktur, dan simpangan antar lantai [14].

Hasil analisa perencanaan desain struktur gedung tahan gempa menggunakan metode *artificial intelligence* didapatkan selama 1-2 detik, tergantung pada

spesifikasi komputer yang digunakan. Sedangkan spesifikasi variabel membutuhkan waktu sekitar 2-4 menit untuk di input. sedangkan pada SAP2000 pada model komputer yang sama, hasil analisa bisa didapatkan selama 5-10 menit setelah modeling dan variabel-variabel di input, kemudian di *export* pada program excel untuk mempermudah menganalisa data, dan penginputan spesifikasi model membutuhkan waktu berkisar 10-20 menit [15].

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pengujian data yang telah dilakukan peneliti mengenai perbandingan perencanaan desain struktur gedung tahan gempa menggunakan metode *artificial intelligence* dan SAP2000, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut: rata-rata selisih perhitungan antara metode *artificial intelligence* dan SAP2000 adalah sebesar 0.016%, yang

terkecil nya adalah 0% atau sama, dan yang terbesarnya ada pada variabel simpangan antar lantai yaitu sebesar 0,054%, dimana perhitungan AI menghasilkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan SAP2000. Selain itu, terdapat kekurangan dari Penerapan Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence*) pada perencanaan struktur Gedung tahan gempa, yaitu belum adanya *User Interface* untuk mempermudah dalam modeling, selain itu hasil dari perhitungan dengan metode *Artificial Intelligence* belum sepenuhnya sama dengan SAP2000, dengan rata-rata selisih sebesar 0.016% dari nilai yang dihasilkan SAP2000, selisih nilai ini tidak akan berpengaruh besar pada variabel seperti partisipasi massa struktur, gaya geser dasar, sistem ganda, perpindahan, dan simpangan, namun akan cukup berpengaruh pada variabel periode alami struktur. Sedangkan kelebihan dari Penerapan Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence*) sendiri yaitu hasil analisa yang didapatkan serta penginputan spesifikasi yang lebih cepat dibandingkan dengan SAP2000 sehingga cocok digunakan untuk pendekatan untuk memperkirakan perhitungan desain rencana.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. B. Siswanto and M. A. Salim, "Kriteria dasar perencanaan struktur bangunan tahan gempa," *J. Tek. Sipil*, vol. 11, no. July, pp. 59-72, 2018.
- [2] S. Widodo and S. Susan, "Utilization of artificial intelligence for sustainable building architecture," *Aksen J. Des. Creat. Ind.*, vol. 8, no. 3, 2024, doi: 10.37715/aksen.v8i3.4626.
- [3] Z. F. V. Mahendra, W. Sutrisno, and A. B. Habieb, "Modifikasi perencanaan struktur apartemen alessandro vittorio dengan metode beton pracetak," *J. Tek. ITS*, vol. 12, no. 2, 2023, doi: 10.12962/j23373539.v12i2.114560.
- [4] P. Teknologi *et al.*, "Research in management of technology and kajian meningkatkan kesediaan kontraktor terhadap a study on increasing contractors readiness towards the use of Artificial Intelligence (AI) Technology in Worker Safety and Health (OKH) Practices on Construction Sites," vol. 5, no. 2, pp. 698-715, 2024.
- [5] Mardiyono, R. Suryanita, and A. Adnan, "Intelligent monitoring system on prediction of building damage index using neural-network," *Telkomnika*, vol. 10, no. 1, pp. 155-164, 2012, doi: 10.12928/telkomnika.v10i1.773.
- [6] A. Wibowo and E. Setiadi, "Uji kelayakan konstruksi balok PT Daeyung dari aplikasi SAP2000 menggunakan *machine learning* dengan model linier regression," *J. Tek. Sipil Cendekia*, vol. 5, no. 1, pp. 799-814, 2024, doi: 10.51988/jtsc.v5i1.185.
- [7] J. P. Amezcua-Sanchez, M. Valtierra-Rodriguez, and H. Adeli, "Machine learning in structural engineering," *Sci. Iran.*, vol. 27, no. 6 A, pp. 2645-2656, 2020, doi: 10.24200/sci.2020.22091.
- [8] A. M. Y. and S. C. A. L. Myzatul Aishah Kamarazaly, Tan Kai Xuan, Mohd Adib Raml, Soon Lam Tatt, *Malaysian Construction Research Rism International Research*, vol. 9, no. 1, p. 147, 2020.
- [9] H. Adeswastoto, Z. Djauhari, and R. Suryanita, "Evaluasi kerentanan bangunan gedung terhadap gempa bumi berdasarkan ASCE 41-13," *SIKLUS J. Tek. Sipil*, vol. 3, no. 2, pp. 86-99, 2017, doi: 10.31849/siklus.v3i2.383.
- [10] C. Sandi, M. B. Adityawan, D. Harlan, M. Farid, and N. Nadeak, "Artificial Neural Network dan pemodelan numerik untuk prediksi parameter aliran akibat *dam break*," *J. Tek. Sumber Daya Air*, vol. 2, no. 2, pp. 129-140, 2022, doi: 10.56860/jtsda.v2i2.50.
- [11] B. Pratiwi, "Penerapan model *machine learning* dalam pengembangan web app untuk deteksi keretakan pada dinding bangunan," *CRACKSAFE*, vol. 3, no. 1, pp. 59-68, 2024.
- [12] J. Trave, "The Influence of AI on the architectural profession and the development of," vol. XXVIII, no. 2, pp. 26-35, 2024.
- [13] Palakka, M. R. Mutawakkil, M. A. Asridal, M. T. Urinta, and M. F. Anugrah, "Peran kecerdasan buatan dalam efisiensi desain bangunan," *Semin. Nas. Dies Natalis 62*, vol. 1, pp. 152-157, 2023, doi: 10.59562/semnasdies.v1i1.755.
- [14] D. Prayogo, "Prediksi kuat tekan beton dengan menggunakan metode *artificial intelligence*," *Semin. Nas. Ilmu Terap. 2018*, pp. 1-6, 2018.
- [15] R. H. Dananjaya, S. Sutrisno, and S. Fitriady, "Penerapan Artificial Neural Network (Ann) dalam memprediksi kapasitas dukung fondasi tiang," *Matriks Tek. Sipil*, vol. 10, no. 4, p. 419, 2022, doi: 10.20961/mateksi.v10i4.65034.