

## Pemodelan Kerusakan Beton akibat Hujan Asam Menggunakan Software MATLAB

Irma Aswani Ahmad<sup>1, a)</sup>, Nurlita Pertiwi<sup>1, b)</sup>, dan Nur Anny S Taufieq<sup>1, c)</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar

a) [irma.aswani.ahmad@unm.ac.id](mailto:irma.aswani.ahmad@unm.ac.id)

b) [nurlita.pertiwi@unm.ac.id](mailto:nurlita.pertiwi@unm.ac.id)

c) [nurannytaufieq@unm.ac.id](mailto:nurannytaufieq@unm.ac.id)

**Abstrak.** Beberapa kota di Indonesia menalam hujan dengan tingkat keasaman di bawah ambang normal. Hal ini menggambarkan bahwa air hujan tersebut masuk kategori hujan asam. Hujan asam mengakibatkan kerusakan tanaman, lingkungan air, penyakit pada manusia. Kerusakan ini pun terjadi pada bangunan konstruksi, menyebabkan beton dan tulangan keropos. Hal ini menyebabkan tingkat keawetan yang dikenal dengan durabilitas bangunan menurun. Tujuan penelitian ini adalah memprediksi penurunan durabilitas bangunan beton dengan membuat pemodelan menggunakan software Matlab. Penelitian ini adalah penelitian eksperimen, dengan benda uji berbentuk silinder dan balok. Variasi yang digunakan adalah campuran beton menggunakan material substitusi abu sekam padi sebesar 0%, 5% dan 10% dari berat semen. Pengujian yang dilakukan adalah uji tekan, uji lentur dan uji penyerapan air. Data ini dianalisis untuk membentuk suatu model durabilitas dengan bantuan software Matlab. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa hubungan antara variabel berbentuk hyperbolic paraboloidal dengan persamaan polynomial orde 2.

**Kata Kunci:** Durabilitas, Beton, Polinomial, Hyperbolic Paraboloidal, Hujan Asam

**Abstract.** Several cities in Indonesia experienced rain with acidity levels below the standard threshold. This condition illustrates that the rainwater is categorized as acid rain. Acid rain causes damage to crops, the aquatic environment, and human disease. This damage also occurred in construction buildings, causing porous concrete and reinforcement. This damage also occurs in construction buildings, causing the concrete and reinforcement to become porous, affecting the durability of the building. The purpose of this study is to predict the decrease in the durability of concrete buildings by making modeling using Matlab software. This research is experimental research with cylindrical and beam-shaped specimens. The variation used is a mixture of concrete using rice husk ash substituting 0%, 5%, and 10% by weight of cement. The tests carried out are compressive, flexural, and water absorption tests. This data was analyzed to form a durability model with the help of Matlab software. The results showed that the durability modeling was in the form of a hyperbolic paraboloidal with a second-order polynomial equation.

**Keywords:** Durability, Concrete, Polynomial, Hyperbolic Paraboloidal, Acid Rain.

## PENDAHULUAN

Tingkat keasaman air hujan wilayah Indonesia bulan April 2022 berkisar pada pH 4,45 – 6,42 (BMKG, 2022). Ambang batas pH air hujan yang dikenal dengan istilah nilai ambang batas berada pada pH 5,6. Jadi terdapat sebanyak 22 kota dari 38 kota yang dipantau memiliki pH di

bawah 5,6 sehingga dikategorikan sebagai hujan asam. Tingkat keasaman air hujan ini dapat merusak bangunan dengan bahan pembentuknya beton. Beton akan mengalami keropos dilanjutkan dengan kerusakan pada tulangnya. Fenomena ini akan berdampak pada keawetan bangunan dan mempengaruhi umur bangunan. Besarnya kerusakan menjadi hal yang perlu diketahui secara pasti nilainya. Untuk itu perlu adanya suatu model yang dapat menggambarkan alur dan besarnya kerusakan jika bangunan beton terkena hujan asam.

Sebenarnya prediksi kekuatan suatu bangunan sudah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Desain dan analisis plat beton dirumuskan dengan menggunakan bantuan program pada software Matlab. Jadi untuk analisis kekuatan selanjutnya dapat lebih mudah dan cepat dihitung untuk berbagai variasi ukuran plat, mutu beton, mutu baja, diameter kolom dan juga beban hidup yang berbeda (Hasibuan et al., 2021). Analisis kekuatan dengan menggunakan metode Artificial Neural Network (ANN) juga banyak telah diteliti. Metode ANN telah dapat digunakan untuk untuk memprediksi kuat tekan beton umur 3 hari dan 28 hari untuk berbagai komposisi campuran (Rada & Aji, 2019). Selanjutnya prediksi kuat beton dengan metode ANN ini memiliki performa paling akurat bila dibandingkan dengan metode prediksi lainnya. (Christiono & Prayogo, 2020) (Afifuddin et al., 2021).

Peluang penetrasi air hujan ke dalam beton mengakibatkan kerusakan pada tulangan beton. Oleh sebab itu, banyak peneliti yang yang berusaha membuat campuran beton kedap air. Salah satu material yang digunakan adalah penambahan fly ash atau abu terbang. Prediksi kuat tekan yang dihasilkan dilakukan dengan menggunakan aplikasi MATLAB dengan Metode *Interactive Script* (Rasif et al., 2020). Bahan tambah lain yang dapat digunakan adalah batu apung. Prediksi kuat tarik belah beton dimodelkan dengan menggunakan software MATLAB R2021a dan terdiri dari dua model ANN (Bakhtiar et al., 2022). Prediksi kuat tekan juga berhasil dilakukan dengan menggunakan *h2o's deep learning*. (Santosa et al., 2020).

Penelitian ini akan memprediksi kerusakan beton akibat hujan asam dengan menggunakan bantuan MATLAB juga. Tetapi perbedaannya dengan penelitian terdahulu, pemodelan yang dilakukan ini berbasis kinerja yaitu prediksi durabilitas dengan menggunakan lebih dari satu parameter. Penelitian ini akan menggabungkan parameter kuat tekan, kuat lentur dan penyerapan ari dalam satu model. Sebenarnya telah ada peneliti yang mendesain berbasis durabilitas juga, tetapi pemodelan hanya dilakukan untuk satu parameter saja yaitu kuat tarik belah (Herry, 2017).

Tujuan penelitian ini adalah membuat suatu pemodelan yang dapat memperkirakan besarnya penurunan durabilitas beton akibat terpapar hujan asam dalam jangka waktu tertentu. Besarnya penurunan durabilitas ini dinotasikan sebagai indeks durabilitas dan indeks kerusakan. Kedua indeks ini dibuatkan masing-masing pemodelan yang sesuai dengan jangka waktu terpapar hujan asam. Penelitian ini juga menggunakan bahan substitusi pengganti sebagian semen berupa abu sekam padi (ASP) untuk membuat beton kedap air. Pemodelan yang terbentuk diharapkan dapat membantu para ilmuwan dan praktisi dalam merencanakan kekuatan beton yang harus direncanakan pada bangunan yang terletak di daerah hujan asam.

## **METODE PENELITIAN**

ASP yang digunakan sebagai bahan tambah diperiksa karakteristik kimia dan fisiknya. Benda uji beton dengan bahan substitusi ASP terdiri atas dua macam yaitu silinder dan prisma. Silinder dengan ukuran 15 cm x 30 cm dan balok ukuran 15 cm x 15 cm x60 cm. Simulasi hujan asam dilakukan dengan merendam benda uji dalam bak berisi capuran larutan asam nitrat dan asam sulfat. Dibuat pula benda uji beton tanpa dan dengan ASP yang direndam dalam bak air (perawatan normal) dan digunakan sebagai benda uji kontrol.

Selanjutnya, dalam penelitian ini yang merupakan variabel bebas adalah persentasi ASP, yaitu 5% dan 10% dari berat semen. Dan lama perendaman, yaitu 28 hari dan 90 hari. Sedangkan variabel terikatnya adalah durabilitas beton.

Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan serangkaian uji durabilitas beton. Uji durabilitas yang akan dilakukan adalah uji sifat mekanik dan uji penyerapan air. Uji sifat mekanik terdiri dari uji kuat tekan (Badan Standardisasi Nasional, 2000) dan uji kuat lentur. Data yang terkumpul digunakan untuk membuat model durabilitas beton ASP terhadap hujan asam.

Data yang dihasilkan dari uji tekan, uji lentur dan uji penyerapan air pada seluruh benda uji dianalisis masing-masing secara analisis deskriptif untuk mendapatkan bentuk hubungannya baik dengan persentasi ASP dan lama perendaman. Selanjutnya bentuk tersebut akan dianalisis dengan menggunakan hasil dari uji mikrostruktur.

Pemodelan durabilitas menggunakan bantuan software MATLAB. Model yang dihasilkan berupa persamaan hubungan antara variabel bebas dan terikat. Variabel bebas berjumlah tiga yaitu kuat tekan, kuat lentur dan penyerapan air. Sedangkan variabel terikat adalah indeks durabilitas dan indeks kerusakan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Model untuk durabilitas beton akibat hujan asam dibentuk dengan mencari hubungan antara sifat mekanik dan sifat mikrostruktur. Selanjutnya tingkat durabilitas beton terhadap hujan asam dimodelkan dalam dua cara yaitu dengan nilai Indeks Durabilitas (ID) dan nilai Indeks Kerusakan (IK). Nilai dari ID ini merupakan perbandingan antara sifat benda uji pada lingkungan asam dan pada lingkungan air normal. Sedangkan nilai dari IK merupakan persentasi penurunan sifat dari masing-masing benda uji akibat perendaman dalam larutan asam.

### Pemodelan Indeks Durabilitas (ID)

Pemodelan yang dibentuk adalah suatu bentuk fungsi persamaan polynomial yang memiliki dua peubah. Fungsi dengan dua peubah,  $x$  dan  $y$ , secara umum dinyatakan dalam bentuk  $z = f(x, y)$ . Grafik fungsi  $z$  adalah berupa permukaan (surface) atau selimut kurva dengan alasnya adalah bidang  $z$ - $y$ . Jadi, nilai-nilai  $z$  terletak pada permukaan tersebut. Jika dihubungkan dengan kondisi pada penelitian ini maka dapat dikatakan bahwa ID kuat tekan ( $ID_{fc}$ ), ID kuat lentur ( $ID_{fr}$ ) dan ID penyerapan air ( $ID_{pa}$ ) adalah fungsi  $z$ . Sedangkan dua peubah adalah persentasi ASP pada lingkungan asam ( $y$ ) dan persentasi ASP pada lingkungan air normal ( $x$ ). Secara detail nilai dari  $ID_{fc}$ ,  $ID_{fr}$  dan  $ID_{pa}$  disajikan pada Tabel 1.

**TABEL 1.** Indeks Durabilitas

| No. | x           | y         | z         |           |           |
|-----|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|     | %ASP normal | %ASP asam | $ID_{fc}$ | $ID_{fr}$ | $ID_{pa}$ |
| 1   | 0           | 0         | 0.66      | 0.68      | 2.00      |
| 2   | 0           | 5         | 0.82      | 0.78      | 1.39      |
| 3   | 0           | 10        | 0.64      | 0.59      | 1.53      |
| 4   | 5           | 0         | 0.60      | 0.66      | 2.03      |
| 5   | 5           | 5         | 0.75      | 0.75      | 1.41      |
| 6   | 5           | 10        | 0.58      | 0.57      | 1.56      |
| 7   | 10          | 0         | 0.74      | 0.84      | 2.02      |
| 8   | 10          | 5         | 0.92      | 0.96      | 1.40      |

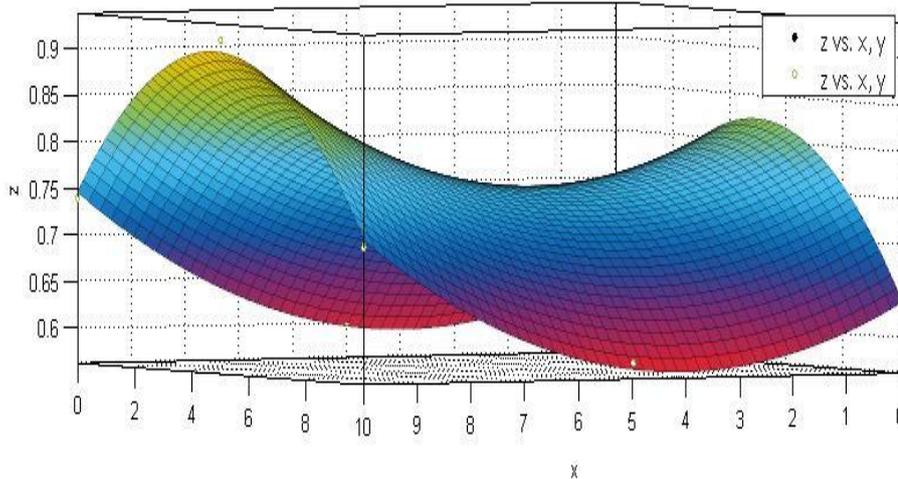
Program Matlab R2021a digunakan untuk membantu pembentukan fungsi masing-masing z tersebut, dilanjutkan dengan penggambaran bentuk permukaan yang terbentuk. Hasilnya dinyatakan bahwa bentuk dari model adalah persamaan polynomial dengan masing-masing arah x dan y berorde 2, seperti pada persamaan 1, persamaan 2 dan persamaan 3.

$$ID_{fc} = z = 0.6575 - 0.0033x + 0.0682y + 0.0042x^2 - 0.0001xy - 0.007y^2 \quad (1)$$

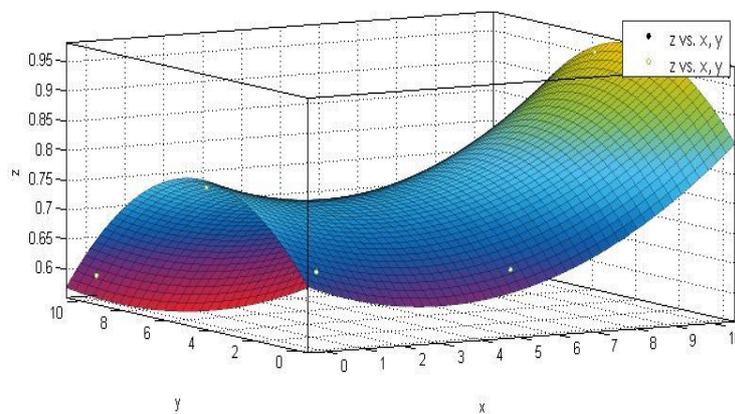
$$ID_{fr} = z = 0.6761 - 0.0243x + 0.052y + 0.0041x^2 - 0.0002xy - 0.0061y^2 \quad (2)$$

$$ID_{pa} = z = 1.412 + 0.0072x - 0.2035y - 0.0138x^2 + 0.2863y^2 \quad (3)$$

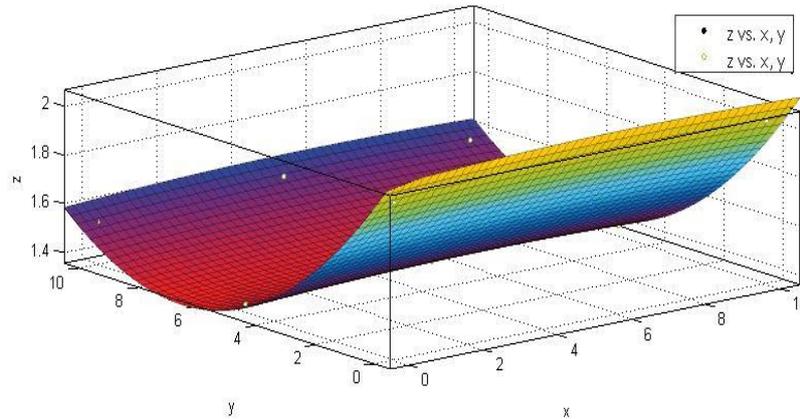
Gambar 1, 2 dan 3 memperlihatkan bentuk permukaan hasil regresi yang dilakukan oleh program tersebut. Jika dilihat dari bentuknya, maka ID untuk kuat tekan dan kuat lentur menggambarkan suatu bentuk *hyperbolic paraboloidal*. Tetapi ID untuk penyerapan air menggambarkan sepotong selimut silinder.



**GAMBAR 1.** Permukaan Fungsi  $ID_{fc}$



**GAMBAR 2.** Permukaan Fungsi  $ID_{fr}$



**GAMBAR 3.** Permukaan Fungsi  $ID_{pa}$

### Pemodelan Indeks Kerusakan (IK)

IK kuat tekan ( $IK_{fc}$ ), IK kuat lentur ( $IK_{fr}$ ) dan IK penyerapan air ( $ID_{pa}$ ) adalah fungsi  $z$ . Sedangkan dua peubah adalah persentase ASP ( $x$ ) dan lama perendaman dalam larutan asam ( $y$ ). Secara detail nilai dari  $IK_{fc}$ ,  $IK_{fr}$  dan  $IK_{pa}$  disajikan pada Tabel 2.

**TABEL 2.** Indeks Kerusakan

| No. | x     | y                      | z         |           |           |
|-----|-------|------------------------|-----------|-----------|-----------|
|     | % ASP | Lama perendaman (hari) | $IK_{fc}$ | $IK_{fr}$ | $IK_{pa}$ |
| 1   | 0     | 0                      | 1.00      | 1.00      | 1.00      |
| 2   | 0     | 28                     | 0.84      | 0.82      | 1.74      |
| 3   | 0     | 90                     | 0.76      | 0.79      | 1.84      |
| 4   | 5     | 0                      | 1.27      | 1.01      | 0.97      |
| 5   | 5     | 28                     | 0.99      | 0.94      | 1.25      |
| 6   | 5     | 90                     | 0.95      | 0.91      | 1.27      |
| 7   | 10    | 0                      | 1.03      | 0.93      | 0.98      |
| 8   | 10    | 28                     | 0.82      | 0.78      | 1.35      |
| 9   | 10    | 90                     | 0.74      | 0.69      | 1.41      |

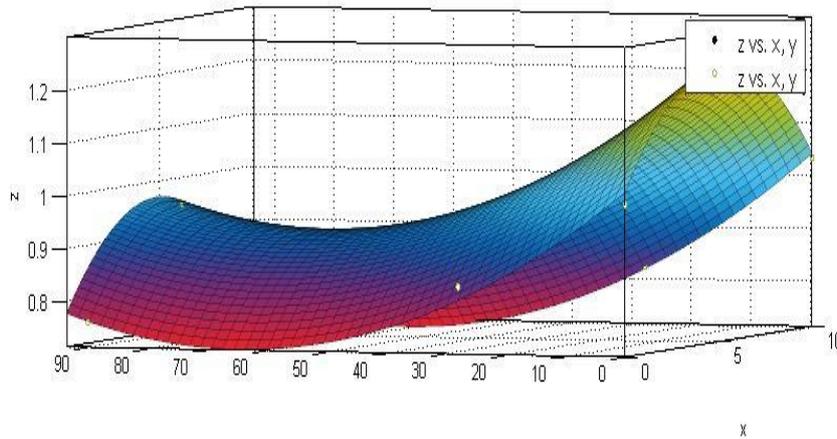
Program Matlab R2021a digunakan untuk membantu pembentukan fungsi masing-masing  $z$  tersebut, dilanjutkan dengan penggambaran bentuk permukaan yang terbentuk. Hasilnya dinyatakan bahwa bentuk dari model adalah persamaan polynomial dengan masing-masing arah  $x$  dan  $y$  berorde 2, seperti pada persamaan 4, persamaan 5 dan persamaan 6.

$$IK_{fc} = z = 1.024 + 0.0835x - 0.0096y - 0.0082x^2 - 0.00005xy + 0.00007y^2 \quad (4)$$

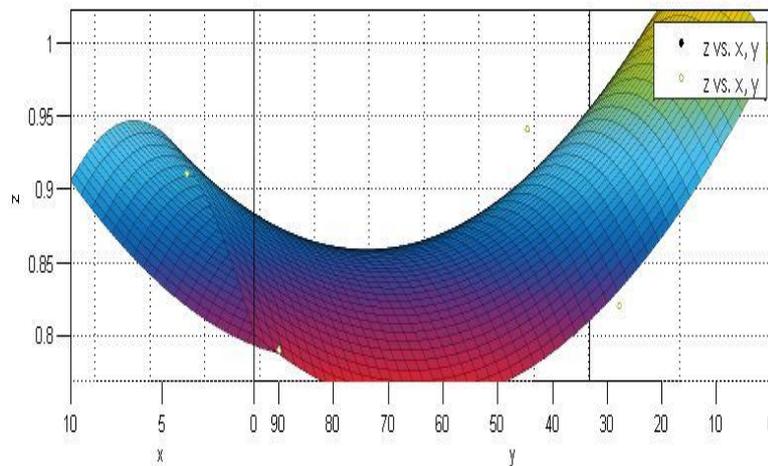
$$IK_{fr} = z = 0.9917 + 0.026x - 0.0073y - 0.0034x^2 + 0.0002xy - 0.00006y^2 \quad (5)$$

$$IK_{pa} = z = 1.121 - 0.102x + 0.0234y + 0.0089x^2 - 0.0003908xy - 0.0001731y^2 \quad (6)$$

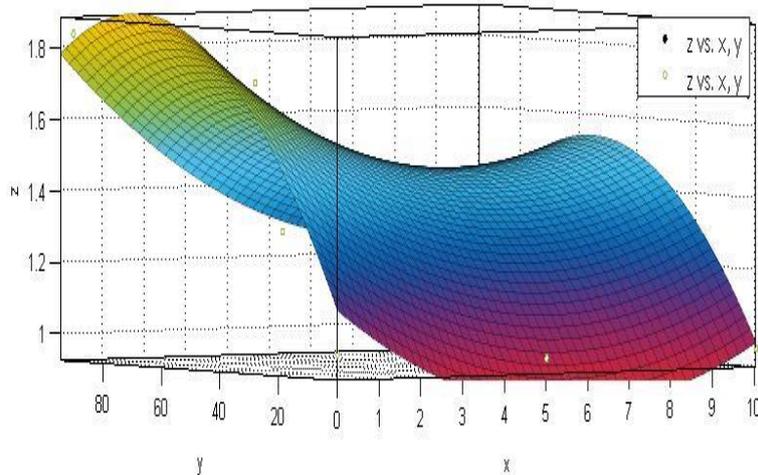
Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6 memperlihatkan bentuk permukaan hasil regresi yang dilakukan oleh program tersebut. Jika dilihat dari bentuknya, maka ID untuk kuat tekan dan kuat lentur menggambarkan suatu bentuk *hyperbolic paraboloidal*. Tetapi ID untuk penyerapan air menggambarkan sepotong selimut silinder.



**GAMBAR 4.** Permukaan Fungsi  $IK_{fc}$



**GAMBAR 5.** Permukaan Fungsi  $IK_{fr}$



**GAMBAR 6.** Permukaan Fungsi  $IK_{pa}$

## KESIMPULAN

Pemodelan kerusakan beton akibat hujan asam dibagi dua yaitu :

1. Pemodelan Indek Durabilitas berbentuk *hyperbolic paraboloidal* dengan persamaan polynomial berorde 2 yaitu:

$$ID_{fc} = z = 0.6575 - 0.0033x + 0.0682y + 0.0042x^2 - 0.0001xy - 0.007y^2$$

$$ID_{fr} = z = 0.6761 - 0.0243x + 0.052y + 0.0041x^2 - 0.0002xy - 0.0061y^2$$

$$ID_{pa} = z = 1.412 + 0.0072x - 0.2035y - 0.0138x^2 + 0.2863y^2$$

2. Pemodelan Indek Kerusakan berbentuk *hyperbolic paraboloidal* dengan persamaan polynomial berorde 2 yaitu:

$$IK_{fc} = 1.024 + 0.0835x - 0.0096y - 0.0082x^2 - 0.00005xy + 0.00007y^2$$

$$IK_{fr} = 0.9917 + 0.026x - 0.0073y - 0.0034x^2 + 0.0002xy - 0.00006y^2$$

$$IK_{pa} = 1.121 - 0.102x + 0.0234y + 0.0089x^2 - 0.0003908xy - 0.000173$$

## DAFTAR PUSTAKA

- Afifuddin, M., Nafira, D., Teknik Sipil, J., Teknik, F., Syiah Kuala Jl Tgk Syeh Abdul Rauf No, U., & Banda Aceh, D. (2021). PREDIKSI KUAT TEKAN BETON KINERJA TINGGI DENGAN PEMODELAN METODE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (ANN). *Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 106–113. <https://doi.org/10.24815/JTS.V10I2.22969>
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). SNI 03-6429-2000: Metode Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder Dengan Cetakan Silinder Di Dalam Tempat Cetakan. *Badan Standardisasi Nasional*, 5.
- Bakhtiar, N. H., Afifuddin, M., & Fachrurrazi, F. (2022). Aplikasi Artificial Neural Network (ANN) pada Model Prediksi Kuat Tarik Belah Beton Busa. *Journal of The Civil Engineering Student*, 4(1), 29–35. <https://doi.org/10.24815/JOURNALCES.V4I1.17875>
- BMKG. (2022). *Tingkat Keasaman (pH) Air Hujan di Indonesia Bulan April 2022*. <https://www.bmkg.go.id/kualitas-udara/informasi-kimia-air-hujan.bmkg>

- Christiono, N., & Prayogo, D. (2020). Perbandingan Kinerja Artificial Intelligence dalam Memprediksi Kuat Tekan Beton. *Dimensi Utama Teknik Sipil*, 7(2), 1–17. <https://doi.org/10.9744/duts.7.2.1-17>
- Hasibuan, S. A. R. S., Kurniati, D., & Sari, M. P. (2021). Desain dan Analisis Flat Slab dengan Software Matlab. *Teknika*, 16(2), 88. <https://doi.org/10.26623/teknika.v16i2.2357>
- Herry, P. (2017). Persyaratan Durabilitas Beton Struktural Sebagai Langkah. *Seminar Nasional Penerapan Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi (Pipt)*, Pontianak, Indonesia : Universitas Tanjungpura.
- Rada, Y. H. M., & Aji, P. (2019). Prediksi Kekuatan Beton Berdasarkan Parameter Design, Hammer Test Dan Test UPV Dengan Menggunakan Artificial Neural Network (ANN). *Journal Of Civil Engineering*, 34 No.1(1), 18–23.
- Rasif, N., Dewi, I. S., Aviani, N., & Utama, W. (2020). Analisis Kuat Tekan Dan Densitas Beton Non-Pasir Dengan Campuran Varian Abu Terbang Menggunakan Matlab. *PROKONS Jurusan Teknik Sipil*, 14(1), 18. <https://doi.org/10.33795/prokons.v14i1.227>
- Santosa, S., Budi Utomo, M., Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang, J., Sudarto, J. H., & Tembalang Semarang, S. (2020). PEMODELAN PREDIKSI KUAT TEKAN BETON UMUR MUDA MENGGUNAKAN H2O'S DEEP LEARNING. *Wahana Teknik Sipil: Jurnal Pengembangan Teknik Sipil*, 25(1), 40–54. <https://doi.org/10.32497/WAHANATS.V25I1.1917>