

UJI KELAYAKAN KONSTRUKSI BALOK PT DAEYUNG DARI APLIKASI SAP2000 MENGGUNAKAN MACHINE LEARNING DENGAN MODEL LINIER REGRESSION

Endang Setiadi¹ Ari Wibowo²

¹Teknik Sipil Universitas Subang,²Teknik Arsitektur Universitas Subang
¹endangsetiadi@unsub.ac.id,²ariwibowo@unsub.ac.id

ABSTRACT

Structural design is one of the important elements in the construction of a building in order to produce a safe, strong and economical building. Both designing upper structures (in the form of floors, beams, columns, walls and roofs) or lower structures (in the form of foundations and sloof beams). Talking about the upper structure, especially beams and columns, is the building frame structure. So it is necessary to design and carry out feasibility tests regarding dimensions and use of reinforcement that are safe and economical. If you look at the allowable normal stress, you can find out whether the normal stress is feasible or not if you enter a certain input value, so you can find out feasibility information before applying it directly to the building. Therefore, it is necessary to have a simulation process regarding the feasibility of stress so that the building to be created can meet the criteria for being a safe, strong and economical building. After the required data is obtained, a training process is carried out using machine learning. The data obtained is separated into three parts, namely algorithm training data, validation data and testing data with a comparison percentage of training and testing data being 80%:20%. From the training process, the Linear Regression algorithm produces very high accuracy. This can be seen in the R-Squared value of 0.99 while the RMSE is 1.30e-06. Meanwhile, in the data testing process, high accuracy was also obtained, for R-Squared of 1.0 and RMSE 3.87e-16. After the training and testing process has obtained very good results, we proceed to the beam feasibility testing process by entering certain input values, to produce the normal stress magnitude (Mpa) accompanied by the confidence level of each normal stress prediction result.

Keywords: Feasibility test; Beam Construction; Machine Learning.

ABSTRAK

Perancangan struktur merupakan salah satu unsur penting dalam pembangunan dari suatu bangunan guna menghasilkan bangunan yang aman, kuat dan ekonomis. Baik perancangan struktur atas (berupa lantai, balok, kolom, dinding, dan atap) ataupun struktur bawah (berupa pondasi, dan balok sloof). Berbicara mengenai struktur atas khususnya balok dan kolom merupakan struktur rangka bangunan. Sehingga diperlukan perancangan dan uji kelayakan mengenai dimensi dan penggunaan tulangan yang aman dan ekonomis. Jika melihat pada besar tegangan normal yang diijinkan, maka dapat diketahui apakah tegangan normal layak atau tidak jika dimasukkan nilai inputan tertentu, sehingga dapat diketahui informasi kelayakan sebelum diaplikasikan langsung ke dalam bangunan. Oleh karena itu, perlu adanya proses simulasi mengenai kelayakan tegangan supaya bangunan yang akan dibuat, dapat terpenuhi kriteria sebagai bangunan yang aman, kuat dan ekonomis. Setelah data yang diperlukan diperoleh, maka dilakukan proses untuk pelatihan menggunakan machine learning. Adapun data yang diperoleh dipisahkan menjadi tiga bagian, yaitu data pelatihan algoritma, data validasi dan data pengujian dengan presentase perbandingan data pelatihan dan pengujian adalah 80%:20%. Dari proses pelatihan algoritma Regresi Linier menghasilkan akurasi yang sangat tinggi. Hal ini dapat dilihat pada nilai R-Squared sebesar 0.99 sedangkan besar RMSE yaitu 1.30e-06. Sedangkan pada proses pengujian data juga diperoleh akurasi yang tinggi, untuk R-Squared sebesar 1.0 dan RMSE 3.87e-16. Setelah proses pelatihan dan pengujian didapatkan hasil yang sangat baik, maka dilanjutkan ke proses pengujian kelayakan balok dengan mengisikan nilai inputan tertentu, untuk menghasilkan besaran tegangan normal (Mpa) dengan disertai tingkat kepercayaan dari setiap hasil prediksi tegangan normalnya.

Kata Kunci: Uji Kelayakan; Konstruksi Balok; Machine Learning

1. PENDAHULUAN

Bangunan gedung merupakan fasilitas yang diciptakan manusia untuk menunjang berbagai aktivitas, seperti tempat kerja (industri dan perkantoran), fasilitas pendidikan (sekolah dan kampus), serta fasilitas olah raga dan rekreasi, sesuai dengan kebutuhan manusia (Nugrahayu, Z. 2021). Bangunan industri disebut juga pabrik adalah suatu tempat kerja atau usaha dimana bahan mentah atau produk setengah jadi diubah menjadi produk jadi yang mempunyai nilai tambah dengan tujuan memperoleh keuntungan. Oleh karena itu diperlukan perencanaan yang matang pada saat merencanakan bangunan industri. Baik dari segi keamanan, biaya, kemudahan penggunaan, bentuk, arsitektur, konstruksi dan layanan yang tersedia (Azwina, R. 2023).

Perancangan struktur bangunan merupakan salah satu unsur penting dalam pembangunan suatu bangunan, sehingga dapat tercipta suatu struktur yang kuat, aman dan ekonomis. Umumnya struktur bangunan memiliki susunan dari dua bagian yaitu suprastruktur dan substruktur. Struktur atas terdiri dari balok dan kolom (Ariani, I., et al. 2023). Balok dan kolom inilah yang merupakan elemen struktur utama yang berperan dalam menyalurkan beban pada struktur bangunan. Balok sendiri berperan sebagai rangka penguat horizontal bangunan, sedangkan kolom berperan sebagai penopang beban tekan aksial vertikal. Karena fungsinya, kolom dan balok memegang fungsi penting dalam struktur suatu bangunan. Itu sebabnya para ilmuwan ingin mengeksplorasi kelayakan struktur balok yang aman namun efektif.

Balok didefinisikan komponen dengan wujud 3 dimensi yang terdiri dari 3 pasang persegi atau persegi panjang, paling sedikit satu pasang dengan ukuran berbeda. Sebuah balok memiliki 6 sisi, 12 rusuk dan 8 titik sudut (Rusydi, A., et al. 2015). Balok yang terdiri atas enam buah persegi yang sama besar dan sebangun dengan nama kubus. Dalam teknik sipil, balok adalah elemen struktur suatu bangunan kaku dan dimaksudkan untuk memindahkan beban ke elemen pendukung yang menahan beban (Sumajouw, R.D, et al. 2017). Selain itu, ada bagian penting lainnya pada balok yaitu beam ring. Mahkota juga berfungsi sebagai penghubung kolom-kolom, sehingga ketika kolom-kolom tersebut dipindahkan, kolom-kolom tersebut tetap menyatu dan melindungi bentuk dan posisi aslinya. Mahkota terbuat dari bahan yang sama dengan batang, sehingga sambungan antara mahkota dan batang bersifat kaku dan tidak mudah berubah bentuk. Terjadi tikungan atau defleksi yang mengharuskan untuk ditahan oleh kekuatan internal material.

Menyadari pentingnya balok bagi keberlangsungan suatu bangunan, antara lain: sebagai rangka penguat horizontal, penyangga langit-langit, dan penghubung kolom lantai atas. Oleh karena itu diperlukan adanya kegiatan dan proses yang mencakup berbagai kegiatan seperti: B. menguraikan, membedakan, mengurutkan sesuatu, kemudian mengklasifikasikan dan mengelompokkannya menurut kriteria tertentu, kemudian mencari hubungan dan menafsirkan makna penting suatu unsur, terutama unsur penting tersebut.

Unsur membangun keberlanjutan, yaitu H. analisis struktural dari balok yang ada pada bangunan.

Karena adanya kebutuhan untuk menganalisis struktur bangunan, maka pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan juga mencakup bidang teknik struktur dalam bidang teknik sipil, dengan tujuan untuk memudahkan analisis dan perancangan struktur bangunan. Salah satu program perencanaan struktural adalah SAP2000 (program analisis struktural). Dikombinasikan dengan pesatnya penerapan teknologi pembelajaran mesin dan perkembangan teknologi AI, tentunya akan memudahkan analisis, evaluasi, dan perencanaan struktur bangunan sesuai harapan berbagai pihak.

Berlandaskan latar belakang yang dipaparkan diatas, maka dengan menggunakan teknologi Machine Learning berbasis Linier Regrassion, serta rekayasa teknik sipil yaitu aplikasi SAP2000, untuk menganalisis kelayakan kolom dari PT daiyong diharapkan dapat mempermudah dalam menguji dan memprediksikan layak atau tidaknya tegangan normal pada balok jika diberikan inputan baru, seperti nilai massa, nilai gaya geser kolom, gaya aksial elemen structural, momen lentur. Sehingga informasi kelayakan tegangan normal dari kolom bangunan dapat diperoleh, mengetahui hasil kelayakan ketika diberikan suatu inputan baru, serta didapatkan keselamatan dan kenyamanan pengguna dari bangunan atau gedung PT DAEYUNG. Selain itu, dari penelitian yang dilakukan juga diharapkan dapat menjadi inspirasi atau tahapan untuk mengawali penggunaan model atau jaringan yang lebih kompleks, dan beragam serta fitur deployment tertentu.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini dijelaskan pengantar teori sebagai landasan untuk penelitian. Seperti pengertian konstruksi bangunan, struktur balok, aplikasi SAP2000 versi 14, Machine Learning, dan Model Linier Regrassion. Yang masing-masing diantaranya adalah:

2.1 Konstruksi Bangunan

Konstruksi bangunan adalah suatu proses fisik dan teknis yang melibatkan perencanaan, desain, bahan material, serta proses konstruksi dan pengawasan untuk menciptakan struktur bangunan seperti gedung, jembatan, rumah, dan fasilitas lainnya. Proses konstruksi ini bertujuan untuk menciptakan struktur bangunan yang aman, kuat, fungsional, dan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan.

Dalam konstruksi bangunan, langkah-langkah utama meliputi perencanaan awal yang mencakup pemilihan lokasi, perizinan, dan perencanaan desain bangunan (Onibala, E.C., et al. 2018). Proses ini kemudian dilanjutkan dengan pembangunan struktur fisik bangunan, yang melibatkan penggunaan berbagai bahan konstruksi seperti beton, baja, kayu, dan material lainnya. Selama proses konstruksi, berbagai teknik dan metode digunakan untuk memastikan bahwa

struktur bangunan dibangun dengan benar dan aman.

Selain itu, aspek lain yang penting dalam konstruksi bangunan adalah manajemen proyek, yang melibatkan perencanaan jadwal, anggaran, dan pengawasan ketat untuk memastikan proyek berjalan sesuai rencana (Maramis, I.L., et al. 2020). Proyek konstruksi juga sering melibatkan berbagai pihak, termasuk arsitek, insinyur, kontraktor, pekerja konstruksi dan konsultan yang linier dalam bidang bangunan.

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 29/PRT/2006 menyebutkan persyaratan desain gedung terdiri dari persyaratan penamaan dan intensitas bangunan, arsitektur bangunan, dan persyaratan pengelolaan dampak lingkungan. Selain itu, dalam peraturan menteri yang sama mengenai persyaratan kredit konstruksi, persyaratan teknis bangunan harus dipenuhi, misalnya. 1) Keamanan, 2) Kesehatan, 3) Kenyamanan, 4) Kenyamanan.

2.2 Struktur balok

Struktur balok merupakan bagian dari elemen konstruksi yang umum dipakai dalam berbagai jenis bangunan. Seperti gedung, jembatan, rumah, dan infrastruktur lainnya (Makal, K.F., et al. 2020). Balok adalah elemen linier yang berfungsi untuk menahan dan mendistribusikan beban dari bagian atas bangunan ke struktur pendukung bawahnya, seperti kolom atau tiang.

Balok umumnya memiliki bentuk seperti balok persegi panjang atau balok persegi dengan profil melintang yang beragam, tergantung pada kebutuhan struktur. Dimensi balok, seperti lebar dan tinggi, dapat bervariasi sesuai dengan tuntutan beban yang harus ditanggung. Balok dapat terbuat dari berbagai jenis bahan konstruksi, seperti beton bertulang, baja, kayu, atau bahan material lainnya. Pilihan material tergantung pada tuntutan desain, beban yang akan ditanggung, dan factor lingkungan (Rizki, F. et al. 2018).

Balok berperilaku sesuai dengan prinsip-prinsip mekanika struktur. Yang dapat menerima beban vertical dan mendistribusikannya ke titik dukungan atau kolom di bawahnya. Balok juga akan mengalami gaya lentur (momen) dan gaya geser (*shear*) tergantung pada arah beban yang diterimanya.

2.3 Formulasi tegangan lentur (*Bending Stress*)

Suatu komponen balok berada di keadaan lentur murni bila balok tersebut menyerap beban berupa momen lentur seragam tanpa pengaruh gaya geser. Pembahasan teori dalam bab ini berlaku untuk balok sederhana yang memikul beban lentur murni, dan persamaan ini dipakai untuk menganalisis atau menguji fungsionalitas balok. Meskipun terdapat momen lentur yang besarnya bervariasi menurut bentang balok, namun dalam analisisnya dipakai beberapa asumsi dasar: penampang balok, luas balok, jari-jari lingkaran yang terbentuk, tegangan yang dikembangkan, dan modulus elastisitas. Menambahkan beberapa asumsi tersebut pasti akan menghasilkan persamaan tegangan lentur yang akurat. Dimana

persamaan dari tegangan lentur dapat dilihat pada persamaan 2 berikut ini.

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I} \quad (2)$$

Dimana untuk σ merupakan tegangan lentur dalam satuan MPa, M adalah Momen maksimum dalam satuan kN.m, y merupakan jarak lentur dalam satuan mm, dan I adalah momen inersia. Adapun momen inersia (I) dapat dihitung menggunakan persamaan 3.

$$I = \frac{1}{12} b h^3 \quad (3)$$

Untuk nilai b merupakan lebar penampang melintang balok dalam mm, dan h merupakan tinggi penampang melintang balok dalam satuan mm.

2.4 Tegangan izin dasar

Tegangan dasar yang diijinkan (ijinkan tegangan) bergantung pada jenis bahan yang dipakai. Spesifikasi ini berasal dari AISC (AISC, 1978) dan API (API, RP-2A, 1989). Desain dan jenis pembebanan yang tidak tercakup dalam spesifikasi ini, analisis yang tepat harus dilaksanakan dengan mempertimbangkan faktor keselamatan yang dipakai dalam spesifikasi ini. Jika tegangan yang terjadi disebabkan oleh gaya lateral dan vertikal akibat kondisi lingkungan, maka tegangan dasar ijin ($\tilde{\sigma}$) yang diberikan di atas dapat ditingkatkan sepertiganya. Ukuran struktur yang dianalisis atau dihitung berdasarkan kriteria penambahan tegangan izin tidak boleh kurang dari ukuran yang dihitung berdasarkan tegangan izin (tanpa bertambah sepertiga). Ingatlah bahwa beban kerja merupakan kombinasi bobot mati dan bobot hidup. Atau dapat diformulasikan ke dalam persamaan, hubungan antara tegangan lentur terhadap tegangan ijin sebagaimana terlihat pada persamaan 4 berikut ini.

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I} \leq \tilde{\sigma} \quad (4)$$

Setelah didapatkan nilai tegangan lenturnya, dapat digunakan untuk mencari nilai tegangan ijin dengan persamaan berikut ini.

$$\tilde{\sigma} = \sigma \cdot \beta \cdot \partial \quad (5)$$

Untuk nilai β , karena konstruksi balok diasumsikan menggunakan bahan tidak terlindungi dan cepat kering, maka $\beta = 1.4$ sedangkan untuk nilai ∂ adalah beban permanen, maka nilai adalah $\partial = 1$.

2.5 Lendutan yang diijinkan pada struktur

Lendutan yang diijinkan dalam sistem struktur sangat bergantung pada besarnya defleksi yang dapat ditahan oleh bagian-bagian struktur dalam interaksi langsung tanpa kehilangan aspek estetika dan merusak elemen bengkok (*ultimate*). Sebaliknya, struktur saat ini dirancang dengan metode kekuatan ekstrim, yaitu memanfaatkan baja berkekuatan tinggi yang dikombinasikan dengan beton.

Dengan cara ini diperoleh elemen yang memperhitungkan dimensi balok tipis, tetapi dalam hal ini defleksi sesaat dan jangka panjang tidak melebihi ambang batas yang telah ditentukan. Adapun besarnya lendutan (*defleksi*) balok dengan beban merata (q) yang diperkenankan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 6 berikut ini.

$$f_{maks} = \frac{5ql^4}{384EI} \leq f_{maks}^{ijin} \quad (6)$$

Untuk nilai q , karena konstruksi balok diasumsikan beban merata di tiap balok melintang maka nilai q sebesar 0,9 t/m, sedangkan nilai l merupakan bentangan kolom, untuk nilai E adalah modulus young, dan I adalah momen inersia.

2.6 Machine Learning (ML)

Machine Learning atau yang disingkat sebagai ML didefinisikan sebagai pendekatan kecerdasan buatan yang sering dipakai sebagai pengganti atau peniru perilaku manusia guna menemukan masalah atau melaksanakan otomatisasi. (Yulianto, Y., Wibowo, A. 2023). *Machine Learning* berupaya menirukan bagaimana cara manusia atau makhluk cerdas belajar serta menggeneralisasi. *Machine learning* memiliki dua aplikasi utama, klasifikasi dan prediksi (Wibowo, A. 2023). Yang menjadi ciri khas ML yaitu adanya proses pelatihan, pembelajaran atau pelatihan atau fase pelatihan. Oleh karena itu, pembelajaran mesin memerlukan data pelatihan, yang disebut data pelatihan (Ahmad, A. 2017).

Adapun tahapan peramalan atau prediksi singkatnya dalam merancang suatu metode peramalan perlu melalui tiga tahap, yaitu: 1) melakukan analisis terhadap data masa lalu atau masa lalu, 2) memilih metode yang akan digunakan, karena dalam mesin pembelajaran, metode berbeda dapat digunakan yang sejalan dengan kebutuhan. Pemilihan algoritma atau metode juga dapat mempengaruhi hasil proses peramalan. Dan umumnya hasil peramalan ini diukur dengan menghitung error atau kesalahan yang dihasilkan saat menggunakan suatu metode, model atau jaringan yang dibuat dapat memberikan hasil yang dimaksud, dengan melatih jaringan tersebut menggunakan metode pembelajaran berbimbing (*supervised learning*) dengan meminimalkan fungsi kerugian (*loss function*) seperti *Cross-Entropy loss*, *Mean Squarederror (MSE)*, *Huber loss*, *Hinge loss (Margin Loss)* dan sebagainya tergantung pada jenis tugas yang sedang dihadapi atau yang akan diselesaikan (Wibowo, A., Setiadi, E. 2022). Karena setiap fungsi kerugian memiliki karakteristik dan efek yang berbeda terhadap pembelajaran model, dan beberapa fungsi dapat lebih cocok daripada yang lain, tergantung pada data dan tujuan yang akan diperoleh. Maka dari itu, tidak ada metode peramalan yang benar-benar cocok guna semua tipe data. 3) proses transformasi data masa lalu dengan digunakannya metode terpilih (Xiao, C. et al 2022).

ML berguna untuk menyelesaikan masalah secara terukur. Pembelajaran mesin digunakan di berbagai industri untuk memproses data yang lebih besar dan kompleks dalam jangka waktu yang relatif singkat. Saat mengambil keputusan,

ML akan fokus belajar dari informasi yang diterima. Inilah sebabnya mengapa ML digunakan karena lebih hemat waktu dan lebih efisien dalam penggunaannya.

2.7 Regresi Linier

Regresi linier merupakan teknik pemodelan yang memprediksi nilai berdasarkan data masukan. Regresi linier merupakan ukuran statistik yang dipakai guna mengetahui kekuatan statistik yang dipakai guna mengetahui kuatnya hubungan antara variabel terikat (dependent) dengan variabel bebas (bebas). Metode peramalan atau prediksi adalah dengan membangun model regresi yang mencari ikatan antara satu atau lebih variabel bebas atau prediktor (X) dan variabel terikat atau respon (Y) (Jäntschi, et al. 2015). Regresi linier memodelkan hubungan antara variabel skalar dan satu atau lebih variabel penjelas.

Langkah pertama guna memperoleh persamaan regresi linier berganda adalah dengan membuat model regresi linier berganda berdasarkan Persamaan 1. Dimana pada persamaan tersebut, untuk nilai y adalah variabel response atau besaran target yang akan dicari, sedangkan untuk nilai α , β_1 , β_2 , β_3 , dan β_4 adalah nilai konstanta dan koefisien regresi yang diperoleh memakai perhitungan matriks determinan (Su, X., et al. 2012).

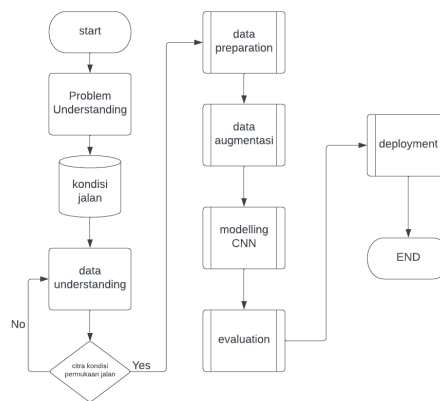
$$y = \alpha + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_4x_4 + \beta_5x_5 + \beta_6x_6\dots(1)$$

2.8 Prediksi

Prediksi (*prediction*) adalah proses memperkirakan nilai data dalam bentuk apa pun dan pada titik waktu mana pun (masa lalu, sekarang, dan masa depan) (Wibowo, A. 2023). Ada istilah yang mirip dengan ramalan, yaitu prediksi yang berarti memperkirakan nilai data deret waktu di masa yang akan datang (Suyanto, 2018). Prediktor tidak serta merta harus memberikan jawaban konkrit mengenai peristiwa apa yang akan terjadi, namun berusaha mencari jawaban yang sedekat mungkin dengan apa yang akan terjadi agar tidak terjadi kesalahan prediksi (perbedaan antara apa yang akan terjadi dan apa yang diprediksikan).

3. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk penelitian ini metode yang dipakai lewat tahapan - tahapan seperti pada gambar 1 sebagai berikut: 1). Tahap pengumpulan data; Melatih model menggunakan machine learning, dimana data yang digunakan merupakan hasil penggunaan aplikasi SAP2000 versi 14 yang berisi 1625 baris data dan 15 kolom data. 2) Tahapan preprocessing data dilakukan terhadap hasil yang diperoleh, meliputi pembersihan dan transformasi data set, 3). Pada tahap pemodelan dan desain, tahap ini dijalankan model regresi melalui menerapkan algoritma regresi linier di dataset guna mendapatkan prediksi guna tahap berikutnya. 4). Tahap implementasi dimana sistem prediksi dirancang menggunakan bahasa pemrograman Python dan framework Stramlit.



Gambar 3.1. Tahapan Penelitian

Penjelasan rinci mengenai tahap – tahap penelitian yang dilaksanakan merupakain sebagai berikut:

3.1. Pengumpulan data

Sebelum dilakukan tahap perencanaan atau perancangan model, dimulai dengan pengenalan data, dataset yang digunakan adalah hasil dari pemodelan menggunakan aplikasi SAP2000 versi 14. Dari aplikasi ini didapatkan data sesuai kebutuhan seperti besaran gaya dalam dan jumlah tulangan, beban, gaya geser, khususnya untuk penelitian yang dilakukan yaitu analisis kolom dari PT DAEYUNG. Pemanfaatan aplikasi untuk keperluan data analisis kolom didapatkan 1625 baris data dan 15 kolom data seperti tampak pada gambar 2, atau dapat juga dilihat sebagian datanya seperti pada gambar 3.

```

<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 1625 entries, 0 to 1624
Data columns (total 15 columns):
#   Column                Non-Null Count  Dtype
---  ---                ---
0   Frame                 1625 non-null  object
1   Station               1625 non-null  object
2   OutputCase            1625 non-null  object
3   CaseType              1625 non-null  object
4   StepType              1625 non-null  object
5   Massa (kg)           1625 non-null  object
6   V2 (gaya geser)      1625 non-null  object
7   V3 (gaya geser)      1625 non-null  object
8   T (N)                 1624 non-null  float64
9   M2                    1625 non-null  object
10  M3                    1625 non-null  object
11  FrameElem             1625 non-null  object
12  ElemStation           1625 non-null  object
13  Tegangan Normal (MPa) 1624 non-null  float64
14  Deformasi Maksimum (mm) 1624 non-null  float64
dtypes: float64(3), object(12)
memory usage: 190.6+ KB
None
  
```

Gambar 3.2. Tipe data hasil dari pemodelan aplikasi SAP2000 versi 14



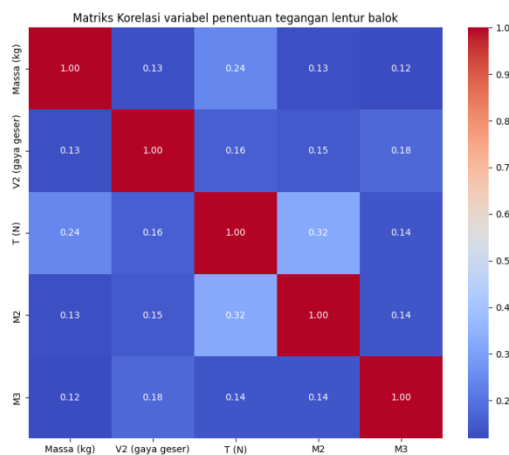
Massa (kg)	Vz (gaya geser)	T (N)	M2	M3	Tegangan Lentur (MPa)	Lendutan
-10004.35	-5743.26	-2.29	-4811.1	-38869.09	-0.005787954375	1.1224754820478725e-12
-10004.35	2155.61	-2.9	-4811.1	-38869.09	-0.005787954375	1.1224754820478725e-12
-10004.35	-5743.26	-2.9	-4712.33	-38869.09	-0.005787954375	1.1224754820478725e-12
-10004.35	2155.61	-2.29	-4712.33	-38869.09	-0.005787954375	1.1224754820478725e-12
-9893.87	-5716.73	-2.96	-4715.66	-38602.23	-0.005737918125	1.1224754820478725e-12
-9893.87	2155.5	-2.33	-4715.66	-38602.23	-0.005737918125	1.1224754820478725e-12
-9893.87	-5716.73	-2.33	-4778.47	-38602.23	-0.005737918125	1.1224754820478725e-12
-9893.87	2155.5	-2.96	-4778.47	-38602.23	-0.005737918125	1.1224754820478725e-12
-9699.81	-5655.54	-2.93	-4712.48	-29986.85	-0.005622534375	1.1224754820478725e-12
-9699.81	2132.06	-2.38	-4712.48	-29986.85	-0.005622534375	1.1224754820478725e-12
-9699.81	-5655.54	-2.38	-4775.13	-29986.85	-0.005622534375	1.1224754820478725e-12
-9699.81	2132.06	-2.93	-4775.13	-29986.85	-0.005622534375	1.1224754820478725e-12
-9587.68	-5618.66	-2.72	-4728.69	-29615.92	-0.005552985	1.1224754820478725e-12
-9587.68	2117.77	-2.48	-4728.69	-29615.92	-0.005552985	1.1224754820478725e-12
-9587.68	-5618.66	-2.48	-4729.49	-29615.92	-0.005552985	1.1224754820478725e-12
-9587.68	2117.77	-2.72	-4729.49	-29615.92	-0.005552985	1.1224754820478725e-12
-9550.61	-5605.78	-2.58	-4726.66	-29486.43	-0.005528705625	1.1224754820478725e-12
-9550.61	2113.44	-2.53	-4726.66	-29486.43	-0.005528705625	1.1224754820478725e-12
-9550.61	-5605.78	-2.53	-4734.15	-29486.43	-0.005528705625	1.1224754820478725e-12
-9550.61	2113.44	-2.58	-4734.15	-29486.43	-0.005528705625	1.1224754820478725e-12
-9545.33	-5603.58	-2.54	-4728.69	-29464.24	-0.005524545	1.1224754820478725e-12
-9545.33	2113.17	-2.54	-4728.69	-29464.24	-0.005524545	1.1224754820478725e-12
-9545.33	-5603.58	-2.54	-4729.35	-29464.24	-0.005524545	1.1224754820478725e-12
-9545.33	2113.17	-2.54	-4729.35	-29464.24	-0.005524545	1.1224754820478725e-12
-9405.35	-5527.09	-1.08	-5165.7	-28994.86	-0.00538028625	1.1224754820478725e-12
-9405.35	2053.74	-5.98	-5165.7	-28994.86	-0.00538028625	1.1224754820478725e-12
-9405.35	-5527.09	-5.98	-4562.95	-28994.86	-0.00538028625	1.1224754820478725e-12
-9405.35	2053.74	-1.08	-4562.95	-28994.86	-0.00538028625	1.1224754820478725e-12
-21248.39	1649.76	1.1	-5690.62	-20745.92	-0.00388986	1.1224754820478725e-12
-21248.39	-4437.82	-15.75	-5690.62	-20745.92	-0.00388986	1.1224754820478725e-12
-21248.39	1649.76	-15.75	-8307.41	-20745.92	-0.00388986	1.1224754820478725e-12
-21248.39	-4437.82	1.1	-8307.41	-20745.92	-0.00388986	1.1224754820478725e-12
-6924.82	-4712.71	1.02	-5918.87	-20504.39	-0.003844573125	1.1224754820478725e-12
-6924.82	1728.57	-11.75	-5918.87	-20504.39	-0.003844573125	1.1224754820478725e-12
-6924.82	-4712.71	-11.75	-4372.88	-20504.39	-0.003844573125	1.1224754820478725e-12
-6924.82	1728.57	1.02	-4372.88	-20504.39	-0.003844573125	1.1224754820478725e-12

Gambar 3. Tampilan sebagian data primer

3.2. Preprocessing data

Kumpulan data yang dihasilkan kemudian diproses terlebih dahulu menggunakan Google Colabs untuk menyiapkan data untuk dipakai dalam pengembangan model. Perolehan hasil data melalui proses menghilangkan data duplikat sehingga model dapat membacanya secara kualitatif dan bukan merupakan data yang repetitif. Output dari data tiruan atau duplikat dipakai pada langkah berikutnya, yang melibatkan pemrosesan data anomali.

Outlier merupakan data yang didalamnya terdapat penyimpangan terlalu jauh dari kisaran normal kumpulan data. Menghapus outlier melaksanakan analisis data lebih jelas dan meningkatkan akurasi data. Dititik ini, data mempunyai kisaran 25% dan lebih dari 75% dibuang karena hal ini nantinya dapat mempengaruhi keakuratan data selama pemrosesan. Langkah selanjutnya adalah memilih variabel berdasarkan derajat korelasinya seperti terlihat pada Gambar 3.3., yang memperlihatkan korelasi masing-masing variabel.



Gambar 3.3. Tingkat korelasi antar variabel

Data yang diperoleh lalu terbagi menjadi data latih dan data uji. Data pelatihan

atau data latih dipakai guna melatih algoritma, data uji atau data uji digunakan guna mengenal kinerja algoritma yang dilatih sebelumnya pada data baru yang belum pernah terlihat sebelumnya. Umumnya langkah ini disebut generalisasi. Hasil dari pelatihan ini bisa dikatakan patut dicontoh. Sedangkan perbandingan 80%:20% dari total data preprocessing digunakan untuk membagi data latih dan data uji, sehingga jumlahnya, 1300 untuk data latih dan data uji serta 325 untuk data uji. Setelah data terbagi membentuk menjadi data pelatihan dan data pengujian, data tersebut digunakan pada langkah berikutnya di mana algoritma untuk data pelatihan dan pengujian serta nilai akurasinya diterapkan.

3.3. Penerapan algoritma Regresi Linier

Sesudah menyiapkan variabel independen dan data latih dan uji, proses berikutnya adalah menerapkan algoritma regresi linier. Regresi linier yang dimanfaatkan dalam penelitian ini adalah regresi linier berganda. Teknik regresi linier berganda dipilih karena hanya mempertimbangkan satu variabel saja. Variabel seperti massa (kg), V2 (gaya geser), V3 (gaya geser), T(N), M2 dan M3 digunakan sebagai variabel penentu dalam penelitian tersebut. Oleh karena itu, model regresi linier pada penelitian ini dapat dituliskan dengan persamaan 1.

$$y = \alpha + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_4x_4 + \beta_5x_5 + \beta_6x_6 \dots (1)$$

Dimana y merupakan variabel response dalam hal ini yaitu tegangan normal. Lalu α adalah intercept, β_1 merupakan slope guna variabel x_1 yaitu Massa (kg), β_2 merupakan slope guna variabel x_2 yaitu V2 (gaya geser), β_3 merupakan slope guna variabel x_3 yaitu V3 (gaya geser), β_4 merupakan slope untuk variabel β_4 yaitu T (N), β_5 merupakan slope guna variabel x_5 yaitu M2, dan β_6 merupakan slope guna variabel x_6 yaitu M3. Nilai α (intercept), β_1 - β_6 (slope) dapat diperoleh melalui perhitungan menggunakan metode least square memanggil fungsi model *intercept* pada *library linier regression* dari *sklearn* modul pada *python*. Dan berikut nilai intersep dan nilai kemiringannya seperti terlihat pada Gambar 3.4. Dengan demikian persamaan regresi menghasilkan nilai seperti terlihat pada Gambar 3.5. dan menampilkan variabel-variabel yang dipakai pada langkah penerapan regresi linier sebagai data latih dan data uji, yang selanjutnya dipakai melalui perintah seperti pada Gambar 3.6..

```
Intercept (α): -1.5557820040225801e-09  
Slope (koefisien) for Massa (X1): 2.7207827408305233e-15  
Slope (koefisien) for V2 (X2): -2.2800087920023487e-14  
Slope (koefisien) for T (X3): 4.587810008614005e-13  
Slope (koefisien) for M2 (X4): -2.026229217945403e-15  
Slope (koefisien) for M3 (X5): 1.8750000013024056e-07
```

Gambar 3.4. Nilai intercept dan slope

```
1 # Pisahkan kolom input dan kolom target
2 kolom_input = ["Massa (kg)", "V2 (gaya geser)", "T (N)", "M2", "M3"]
3 kolom_target = ["Tegangan Lentur (MPa)"]
```

Gambar 3.5. Variabel penerapan Regresi Linier

```
[ ] 1 X_train_lr, X_test_lr, y_train_lr, y_test_lr = train_test_split(X, data[kolom_target], test_size=0.2, random_state=42)
2 model = LinearRegression()
3 model.fit(X_train_lr, y_train_lr)
```

Gambar 3.6. Penerapan Regresi Linier

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Model regresi linier

Setelah data dilatih memakai regresi linier, langkah berikutnya adalah menguji model regresi. Pengujian model regresi dengan memakai data uji dilaksanakan guna mengukur kinerja model yang diperlihatkan dengan skor akurasi model. Pengujian model regresi dilaksanakan terhadap 325 data uji. Menghitung nilai presisi dari nilai tes prediksi dilakukan dengan menghitung skor R2 menggunakan persamaan : $R2 = 1 - (SS_{res} / SS_{tot})$.

Dimana SS_{res} adalah besarnya sisa kesalahan yang dihasilkan dari nilai data uji sebenarnya dikurangi data prediksi, kemudian dikuadratkan, dan SS_{tot} adalah banyaknya kesalahan. Nilainya kemudian menjadi berharga : $R2 = 1 - (4.867488050583485e-29 / 0.06661804002897931)$ $R2 = 1.0$. Perhitungan tersebut menentukan nilai akurasi dari model yang digunakan adalah : 100%.

4.2. Pengujian Prediksi

Langkah pertama dalam menguji prediksi yaitu penentuan *root mean square error* (RMSE), yang merupakan metode berbasis gradien. Semakin nilainya rendah, maka akan semakin baik prediksinya. RME digunakan untuk membandingkan selisih tegangan normal dan nilai aktual dengan tegangan normal hasil prediksi. Nilai RMSE yang didapatkan adalah $3.8759658495958113e-16$ atau seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1.

```
1 # Menghitung Root Mean Square Error (RMSE) pada data pelatihan
2 rmse = np.sqrt(mse)
3
4 print("Root Mean Square Error (RMSE):", rmse)
5
```

Root Mean Square Error (RMSE): 1.564420212756043e-09

Gambar 4.1. Hasil RMSE data prediksi

4.2.1. Pengujian kelayakan tegangan normal

Pada tahap pengujian kelayakan tegangan normal, dilakukan dengan menentukan batas ambang yang ditentukan (threshold) sesuai peraturan yang berlaku. Adapun nilai threshold yang diambil adalah sebesar 1, sehingga jika `predicted_stress` lebih besar dari ambang batas yang ditentukan, maka pesan

akan muncul “Tegangan Normal Tidak Layak”, sedangkan jika hasil predicted_stress lebih kecil dari ambang batas yang ditetapkan, maka pesan akan tercetak “Tengangan Normal Layak”.

Secara teknis pengujian kelayakan tegangan normal ini dilakukan dengan mengisi atau menginput nilai tertentu pada besaran nilai massa, nilai V3, nilai T, nilai M2, dan nilai M3. Setelah inputan pada besarannya diisikan sesuai keinginan maka nanti akan muncul hasil prediksinya, dan hasil prediksi ini ditetapkan sebagai predicted_stress. Dimana untuk tahap ini dilakukan dengan menginput beberapa nilai seperti yang tertampil pada tabel 1 berikut, disertai hasil prediksi dan hasil kelayakan tegangan normalnya.

Tabel 4.1. Uji kelayakan tegangan lentur balok dengan nilai inputan tertentu

No	Nilai Massa	Nilai V2	Nilai T	Nilai M2	Nilai M3	Hasil prediksi	Tegangan lentur ijin	Hasil kelayakan
1	-9900	-5700	-2.21	-4700	-30600	0.005625	0.007875	Tegangan Lentur Layak
2	1050	250	4700	5600	6507	0.00122006	0.00170809	Tegangan Lentur Layak
3	-10500	-5743	-3.9	-4811	-31000	-0.0058125	-0.0081375	Tegangan Normal tidak Layak

Sedangkan untuk besarnya lendutan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 6. Adapun nilai masing-masing besaran agar didapatkan nilai untuk lendutan adalah sebagai berikut. Nilai q, karena beban diasumsikan merata mengenai balok, maka besarnya 0.9, besarnya panjang bentangan balok l sebesar 7, dan modulus elastisitas E sebesar 23500 dan modulus elastisitas I seperti pada persamaan 5. Maka nilai lendutan pada balok melintang adalah:

$$f_{\text{maks}} = \frac{5 \cdot 0.9 \cdot 7^4}{384 \cdot 23500 \cdot 1.066667e + 09}$$

$$f_{\text{maks}} = 1.122475e - 12$$

$$f_{\text{maks}} = \frac{1}{360} l$$

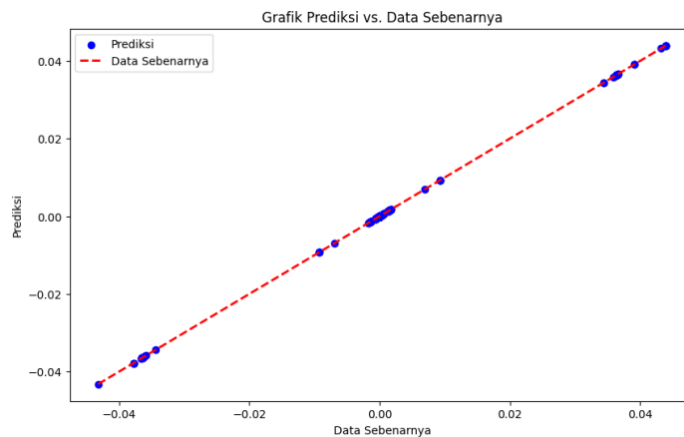
$$f_{\text{maks}} \text{ ijin} = \frac{1}{360} 7 = 19.4e - 3$$

Sehingga besar lendutan maksimal sebesar 1.122475e - 12 dan besarnya lendutan ijin adalah 19.4e - 3 . Maka sesuai dengan konsep besarnya lendutan (defleksi) yang diperkenankan haruslah memenuhi kriteria sebagai berikut:

$$f_{\text{maks}} \leq f_{\text{maks}}^{\text{ijin}}$$

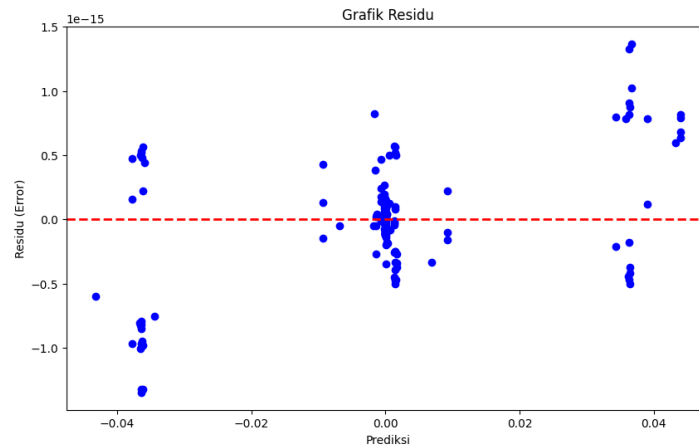
Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa besarnya lendutan yang ketika dimasukkan nilai inputan telah sesuai dan tegangan pada balok dinyatakan bahwa lendutan pada balok adalah layak.

Sedangkan untuk melihat sejauh mana hasil prediksi model yang telah diaplikasikan dengan data sebenarnya, berikut adalah grafik hubungan antara hasil prediksi dengan data sebenarnya, sesuai pada gambar 10. Dimana data sebenarnya adalah garis merah putus-putus, sedangkan bulatan dengan warna biru, merupakan plot dari data hasil prediksi. Dari gambar 9 dapat disimpulkan jika hasil prediksi model sangat dekat dengan garis warna merah, yang menandakan bahwa model yang diterapkan memiliki kinerja yang sangat baik dalam melakukan prediksi. Atau hasil prediksi dan data sebenarnya memiliki hubungan yang mendukung.



Gambar 4.2. Grafik antara data hasil prediksi dan data sebenarnya

Kemudian guna mengetahui perbedaan antara nilai prediksi serta nilai sebenarnya pada setiap sampel data dalam data pengujian dapat ditunjukkan di gambar 10. Dari gambar 10 bisa disimpulkan bahwa pola atau trend dalam grafik residu, terdistribusi secara acak di sekitar garis horizontal nol, Residuals dengan sebaran merata, tidak ada pola melebar, dan diagram residual yang konsisten, maka hal ini menunjukkan bahwa tidak ada pola tertentu dalam kesalahan model, dan model telah berhasil menangkap hubungan antara variabel inputan dan outputan dengan sangat baik.



Gambar 4.3. Grafik Residu

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian yang sudah dilaksanakan menghasilkan suatu metode untuk melakukan proses pengujian layak atau tidaknya besaran tegangan normal dari kolom yang digunakan PT DAEYUNG terhadap nilai yang diinputkan. Dengan mengimplementasikan regresi linier melalui pemodelan machine learning. Hasil prediksi tegangan normal yang dimaksud, telah berhasil mencapai akurasi sebesar 99,99 %, nilai R-Squared memiliki nilai 0,99 (satu) atau mendekati nilai 1, maka menunjukkan bahwa model regresi linier yang digunakan mampu menjelaskan variasi yang sangat baik dalam data. Model secara sempurna cocok dengan data pelatihan, dan setiap perubahan dalam variabel input benar-benar memprediksi perubahan dalam variabel targetnya yaitu tegangan normal.

Dan jika dilihat pada nilai MSE (*Mean Square Error*) memiliki nilai yang sangat rendah, yaitu sebesar $2.4474106020796628e-18$, ini menunjukkan bahwa perbedaan antara prediksi model dan nilai sebenarnya dalam data pengujian sangat kecil. Dengan kata lain, model regresi linier ini sangat dekat dengan data sebenarnya, dan kesalahan dalam memprediksikannya sangat kecil. Kemudian untuk nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) adalah akar kuadrat dari MSE dan digunakan untuk mengukur sejauh mana kualitas dari prediksi model. Ketika semakin rendah RMSE, maka akan semakin berkualitasnya model untuk memprediksi. Dari hasil pengujian nilai RMSE mempunyai nilai yang sangat rendah, yaitu sebesar $1.5640805474044975e-09$, hal ini menunjukkan bahwa kesalahan dalam memprediksi dari model yang dibangun sangatlah kecil.

DAFTAR PUSTAKA

Pustaka yang berupa jurnal ilmiah:

- Akhmad, R., et al. (2015). Peningkatan Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis Siswa Kelas Vi Sd Pada Materi Volume Kubus Dan Balok Menggunakan Alat Peraga Vokuba. *Jurnal Pelangi*, Vol. 8, No. 1, pp. 24-33, DOI: <http://dx.doi.org/10.22202/jp.2015.v8i1.337>.
- Ari W. (2023). Prediksi Kekuatan Gempa Menggunakan Machine Learning Dengan Model Xgboost Sebagai Langkah Strategis dalam Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa Di Indonesia. *MESA (Teknik Mesin, Teknik Elektro, Teknik Sipil, Arsitektur)*, 6(1), 18–29. Retrieved from <https://ejournal.unsub.ac.id/index.php/FTK/article/view/1829>.
- Azwina, R. (2023). Strategi Industri Manufaktur Dalam Meningkatkan Percepatan Pertumbuhan Ekonomi Di Indonesia. *Profit: Jurnal Manajemen, Bisnis dan Akuntansi*. Vol. 2, No. 1, pp. 44-55, Februari 2023.
- Faisal, R., et al. (2018). Analisis Struktur Ruang Rawat Inap Kelas Iii Prabu Siliwangi Rsud Gunung Jati Kota Cirebon. *Jurnal Konstruksi UNSWAGATI CIREBON*, Vol. 7, No. 2, pp. 119-132, Januari 2018.
- Indra A., et al. (2023). Analisis Elemen Struktur Balok Dan Kolom Beton Bertulang (Studi Kasus Gedung Dealer Honda Astra Kota Samarinda. *JTS:Jurnal Teknologi Sipil*, Vol. 7, No. 1, pp. 29-38, DOI: <http://dx.doi.org/10.30872/ts.v7i1>.
- Inkiwirang E.,C., et al. (2018). Metode Pelaksanaan Pekerjaan Konstruksi Dalam Proyek Pembangunan Sekolah SMK Santa Familia Kota Tomohon. *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 6, No. 11, pp. 927-940, November 2018.
- Irfano, L.M., et al. (2020). Pengendalian Biaya Dengan Metode Analisis Indeks Pada Proyek Office And Distribution Center Airmadidi, Minahasa Utara. *TEKNO*, Vol. 17, No. 74, pp. 10-19, April 2020.
- Kurniawan, F., et al. (2020). Struktur balok adalah salah satu elemen konstruksi yang umum digunakan dalam berbagai jenis bangunan. Seperti gedung, jembatan, rumah, dan infrastruktur lainnya. *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 8, No. 4, pp. 483-494, Juli 2020.
- L. Jäntschi, L. L. Pruteanu, A. C. Cozma and S. D. Bolboac , Inside of the linear relation between dependent and independent variables, *Computational and mathematical methods in medicine*, Vol 1, pp: 1-11, DOI:10.1155/2015/360752, 2015.
- Regina, D.S., et al. (2017). Perbandingan Kuat Tarik Lentur Beton Bertulang

Balok Utuh Dengan Balok Yang Diperkuat Menggunakan Chemical Anchor. *Jurnal Sipil Statik*, Vol.5, No. 7, pp. 393-399. September 2017.

Setiadi, E., dan Wibowo, A. 2023. 'Klasifikasi dan Deteksi Keretakan pada Trotoar Menggunakan Metode Convolutional Neural Network', *JTSC*, Vol. 4, No. 1, pp 412-427, Februari 2023, DOI:<https://doi.org/10.51988/jtsc.v4i1.116>.

X. Su, X. Yan, and C. L. Tsai, *Linear regression*, Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, 4(3), 275-294, 2012

Yulianto, Y. & Wibowo, A. 2023. Deteksi keretakan perkerasan jalan aspal menggunakan metode convolutional neural network. *JTSC*, Vol. 4, No. 2, 581-593, DOI: <https://doi.org/10.51988/jtsc.v4i2>.

Zerizkyeska, N., et al. (2021). Manajemen Perawatan dan Pemeliharaan Gedung, Aset dan Fasilitas di Universitas Palangkaraya. *Jurnal KACAPURI*, Vol. 4, No. 2, Desember 2021.

Pustaka yang berupa buku:

Abdu, A. *Mengenal Artificial Intelligence, Machine Learning, Neural Network, dan Deep Learning*, Yayasan Teknologi Indonesia , diakses daring pada <http://www.teknoindonesia.com>, 2017.

Peraturan menteri pekerjaan umum nomor : 29/prt/m/2006 tentang pedoman persyaratan teknis bangunan gedung.

Suyanto. (2018). *Machine Learning Tingkat Dasar dan Lanjut*. Informatika, Bandung.