



ANALISIS KEEFEKTIFAN PENCAHAYAAN BUATAN DALAM RUANGAN MENGGUNAKAN MACHINE LEARNING (Studi Kasus Data Sensor Lingkungan Dan Konsumsi Listrik Smart Building)

Susanto¹, Ari Wibowo²)

1)Prodi Arsitektur-Universitas Subang, 2)Prodi Arsitektur-Universitas Subang.

E-mail: 1susanto.ar2011@unsub.ac.id, *)ariwibowo@unsub.co.id

Informasi Naskah:

Diterima:

17 Januari 2024

Direvisi:

20 Februari 2024

Disetujui terbit:

10 Maret 2024

Diterbitkan:

Cetak:

29 Maret 2024

Online

29 Maret 2024

Abstract: Lighting in an office is an important aspect which can certainly support the performance of its use. Especially in artificial lighting, it is not uncommon if the design system does not adapt to natural daylight, of course it is not effective, and has a negative impact and causes losses periodically. Therefore, it is important to know the effectiveness of using artificial lighting in a room. In this analysis process, one method that can be used is machine learning. By using CU-BEMS based data, which is obtained from environmental sensor data and electricity consumption. This data was taken over a period of 18 months, consisting of several readings from equipment installed in each room. And from this data it is used to select the required quantities so that they can suit your needs. After that, the XGBoost algorithm can be applied and the approach process carried out produces very good accuracy. This can be proven from the results of the resulting evaluation matrix, such as the R-Squared value of 0.99, the RMSE (Root Mean Square Error) is 0.028. Then, in the data testing process, high accuracy was also obtained, for R-Squared of 0.99 and RMSE (Root Mean Square Error) of 0.092. After the training and testing process has obtained very good results, we proceed to the process of analyzing the effectiveness of artificial lighting by entering certain input values, to produce information about the effectiveness of artificial lighting in certain rooms, accompanied by the level of confidence or accuracy of each prediction result.

Keyword: Artificial Lighting, Sensor data and electricity consumption, Machine Learning, XGBoost

Abstrak: Pencahayaan pada kantor merupakan salah satu aspek penting yang tentu dapat menunjang kinerja penggunaannya. Khususnya dalam pencahayaan buatan, tidak jarang jika sistem perancangannya tidak menyesuaikan akan pencahayaan alami siang hari, tentulah tidak efektif, dan berdampak negative dan memberikan kerugian secara berkala. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui keefektifan dari penggunaan pencahayaan buatan pada suatu ruangan. Dalam proses analisis ini salah satu metode yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan machine learning. Dengan menggunakan data berbasis CU-BEMS, yang diperoleh dari data sensor lingkungan dan konsumsi listrik. Data ini diambil dalam kurun waktu selama 18 bulan, yang terdiri beberapa hasil pembacaan alat yang terpasang di tiap ruangan. Dan dari data tersebut digunakan untuk menyeleksi besaran yang diperlukan sehingga dapat sesuai dengan kebutuhan. Setelah itu, maka penerapan algoritma XGBoost dapat dilakukan dan dari proses pendekatan yang dilakukan, menghasilkan akurasi yang sangat baik. Hal ini dapat dibuktikan dari hasil matrik evaluasi yang dihasilkan seperti nilai R-Squared sebesar 0.99, besar RMSE (Root Mean Square Error) yaitu 0.028. Kemudian pada proses pengujian data juga diperoleh akurasi yang tinggi, untuk R-Squared sebesar 0.99 dan RMSE (Root Mean Square Error) 0.092. Setelah proses pelatihan dan pengujian didapatkan hasil yang sangat baik, maka dilanjutkan ke proses analisis keefektifan pencahayaan buatan dengan mengisikan nilai inputan tertentu, untuk menghasilkan informasi mengenai keefektifan dari pencahayaan buatan pada ruangan tertentu dengan disertai tingkat kepercayaan atau keakurasian dari setiap hasil prediksinya.

Kata Kunci: Pencahayaan Buatan, Data sensor dan konsumsi listrik, Machine Learning, XGBoost.

PENDAHULUAN

Pencahayaan memainkan peranan yang sangat penting dalam bidang arsitektur, baik untuk menunjang fungsi ruang dan keberlangsungan

berbagai aktifitas di dalam suatu ruangan (Wisnu, et al. 2017). Selain itu, dari pencahayaan juga dapat membentuk citra visual nilai estetis, maupun juga dapat menciptakan kenyamanan dan keamanan

bagi para pengguna dari gedung atau ruangan (Manurung, 2016).

Dalam perencanaan suatu bangunan gedung, desain pencahayaan merupakan hal yang harus diperhatikan, karena distribusi pencahayaan pada suatu ruangan dapat berpengaruh terhadap kesehatan pengguna, jenis aktifitas maupun produktifitas dari pengguna itu sendiri. Dimana dalam mendesain pencahayaan ruangan haruslah berdasarkan kepada standar iluminasi yang berlaku. Namun tidak sedikit, pencahayaan bangunan tidak memenuhi kriteria yang berlaku atau standar iluminasi. Dan dibiarkan tidak ada upaya evaluasi atau pembenahan, seperti penggunaan jenis lampu yang dapat menghemat energy pada bangunan, atau penerapan sistem pencahayaan sebagai alternative akan kebutuhan pencahayaan, namun juga mempertimbangkan penghematan energy sesuai konsep green building (Jamala, 2013).

Fungsi utama dari pencahayaan adalah sebagai penerang ruang untuk mendukung kegiatan yang berlangsung dalam ruang tersebut. Selain itu, pencahayaan juga dapat memberikan nilai lebih dalam suatu ruang, antara lain dapat membangun suasana ruang, efek fisis dan psikologis dari penggunaannya itu sendiri. Oleh sebab itu ketiga kebutuhan akan pencahayaan tersebut menjadi satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan antara satu dengan yang lain. Pencahayaan yang terlalu terang tentu dapat membuat pengguna merasa aktif dan bersemangat sehingga dapat mempengaruhi tingkat produktifitasnya. Sedangkan pencahayaan yang kurang atau temaram, serta redup dapat berefek terhadap penurunan tingkat produktifitas karena terkesan rileks bahkan mengantuk (Budiman, L., et al. 2012). Hal tersebut merupakan efek psikologis karena perbedaan tingkat pencahayaan. Dan menurut Wulandari (2021), kualitas pencahayaan yang buruk dapat menghambat aktifitas manusia dan dapat mengakibatkan gangguan pada kesehatan mata. Selain itu pencahayaan juga dapat membantu memberikan efek estetika terhadap suatu ruangan, suasana dan karakter yang berbeda-beda terhadap ruangan. Baik jenis pencahayaan, warna cahaya, bentuk, penempatan serta teknik yang digunakan dalam pencahayaan (Wulandari, R.R., et al. 2021). Suasana ruang, efek fisis dan psikologis dapat tercipta melalui elemen-elemen perancangan arsitektur dan interiornya haruslah dilaksanakan sebaik mungkin, salah satu elemen perancangan interior tersebut adalah sistem pencahayaan buatan. Pencahayaan buatan merupakan pencahayaan yang bukan berasal dari cahaya matahari melainkan buatan manusia (lampu). Pencahayaan buatan membutuhkan energy untuk diubah menjadi terang cahaya. Dari segi efisiensi tentu harus menjadi pertimbangan yang sangat penting selain menjadikan pencahayaan buatan sesuai dengan kebutuhan dari penggunaannya. Menurut Satwiko, (2004) dalam Subagyo R (2004) menyatakan akan pentingnya mengarahkan cahaya

ke titik yang membutuhkan pencahayaan sebagai prioritas. Pada cuaca yang kurang baik dan malam hari, pencahayaan buatan sangat dibutuhkan, namun pada saat siang hari kondisi pencahayaan alaminya berlebih, maka perlu dipertimbangkan untuk meminimalkan penggunaan dari pencahayaan buatan itu sendiri (Satwiko, 2004; Subagyo, R. 2017).

Hal ini tentu sejalan dengan konsep bangunan hijau (green building) dengan konsep ramah lingkungan, sehat dan efisien dalam penggunaan energy tidak terbarukan. Salah satunya dalam hal pencahayaan dengan penggunaan cahaya alami sudah harus diaplikasikan pada desain bangunan gedung. Hal ini dilakukan untuk mengurangi efek pemanasan global (global warming). Efek yang ditimbulkan akibat pemanasan global ini dari tahun ke tahun semakin besar. Efek ini dapat dikurangi dengan memaksimalkan penggunaan sumber daya alam yang efisien sehingga terwujud bangunan sehat, hemat energy dan ramah lingkungan melalui sistem perancangan yang benar termasuk dalam pencahayaannya (Sugiarto, et al. 2016).

Namun tidak jarang ditemukan banyaknya gedung yang tidak dirancang dengan baik, khususnya dalam hal pencahayaan dan tidak dilakukan evaluasi dan pembenahan terhadap pemakaian energy untuk pencahayaan. Oleh karena itu perlu adanya perancangan untuk mengetahui efektif atau tidaknya dari penggunaan pencahayaan buatan atau lampu, sehingga dapat diambil tindakan untuk pembenahan secara berkala terhadap ruangan yang tidak memenuhi kriteria atau konsep green building. Salah satu dari cara untuk mengetahui efektif atau tidaknya penggunaan lampu adalah dengan mengamati perilaku perubahan penggunaan energy listrik, baik pada saat hari libur atau kerja, waktu pemakaiannya, dan kondisi cuaca. Untuk mengetahui banyaknya konsumsi energy listrik dapat menggunakan sensor pemakaian listrik yang dipasang pada panel-panel tiap gedung.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan informasi keefektifan dari pemakaian lampu berdasarkan konsumsi energy dari sensor yang terpasang di panel listrik di lantai 1. Diharapkan dari penelitian ini dapat memberikan suatu ide atau gagasan dalam mengevaluasi penggunaan energy listrik khususnya lampu, sehingga ketika didapatkan kondisi yang tidak efektif dalam hal pemakaian pencahayaan lampu pada siang hari, maka dapat membantu untuk mempertimbangkan pengoptimalan sistem pencahayaan alami maupun pemilihan jenis lampu yang lebih hemat energy sesuai dengan konsep green building. Untuk itu penelitian ini menggunakan metode machine learning agar dapat dilakukan prediksi penggunaan energy listrik dalam skala timeseries dengan tepat. Dimana penerapan machine learning ini disertai nilai akurasi berdasarkan hasil pelatihan uji data test maupun uji validasi serta tingkat kepercayaan dari hasil prediksi (Susanto, & Wibowo, A. 2023).

TINJUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan pengantar teori sebagai landasan untuk penelitian. Seperti pengertian pencahayaan alami, pencahayaan buatan, konsep green building, persyaratan pencahayaan pada kantor, dan jenis kerusakan jalan, dan metode Machine Learning XGBoost serta RandomForestRegressor. Yang masing-masing diantaranya adalah:

1. Pencahayaan Alami

Menurut Rahmania dan Sugini (2013), pencahayaan alami merupakan cahaya yang bersumber dari matahari. Pencahayaan alami dibutuhkan karena manusia memerlukan kualitas cahaya alami. Fungsi pencahayaan alami dapat meminimalisir penggunaan energy listrik. Sehingga desain yang mengutamakan pemanfaatan pencahayaan alami harus dikembangkan.

Riandito (dalam Fleta (2021)) menjelaskan mengenai beberapa strategi desain untuk pencahayaan alami, antara lain:

Peningkatan keliling zona pencahayaan alami, penggunaan ide “bukaan efektif” untuk perkiraan awal pada area kaca yang optimal, pemantulan pencahayaan alami dalam ruang untuk meningkatkan kecerahan ruang, penghindaran sorotan langsung cahaya alami di daerah tugas visual yang kritis, penggunaan cahaya langsung secara hati-hati pada area dimana pekerjaan nonkritis terjadi, dan penyaringan alami.

2. Pencahayaan buatan

Dalam penjelasan yang disampaikan oleh Amin (2011), menyatakan bahwa pencahayaan buatan merupakan pencahayaan yang dihasilkan oleh sumber cahaya selain cahaya alami. Pencahayaan buatan sangat diperlukan apabila posisi ruangan sulit dicapai oleh pencahayaan alami atau saat pencahayaan alami tidak mencukupi. Karlen dan benya (dalam Riandito (2012)). Menjelaskan secara lengkap bahwa untuk mendapatkan desain pencahayaan buatan yang baik, maka perlu untuk memperhatikan beberapa langkah atau tahapan, diantaranya ; 1) penentuan kriteria desain pencahayaan. Beberapa kriteria yang mencakup kuantitas dan kualitas pencahayaan. 2) perekaman kondisi arsitektural dan batasan. 3) penentuan tugas visual dan pekerjaan yang harus dilayani, 4) pemilihan sistem pencahayaan yang akan digunakan.

3. Persyaratan pencahayaan kantor

Dalam konteks intensitas pencahayaan, sangat erat kaitannya dengan pemantulan dan penyerapan bahan, intensitas cahaya matahari dan pantulan cahaya matahari (Lippsmeier, 1994). Walaupun perlu juga untuk mempertimbangkan factor lainnya seperti perancangan terkait bahan dan warna pada lapisan furnishing elemen ruang. Termasuk juga pada ruang-ruang tertentu yang fakot

pencahayaan pada ruangan sangat penting karena mempengaruhi kinerja dan produksi seperti pada area atau ruang kantor. Mengutip dari sumber badan standarisasi nasional (2001), pengujian pencahayaan baik alami maupun buatan sangat penting untuk dilakukan untuk mengetahui kondisi keefektifan pencahayaan dalam suatu ruangan. Adapun menurut sumber yang sama disebutkan bahwa intensitas cahaya yang dibutuhkan untuk ruang kerja atau perkantoran sebesar 350 lux (Badan Standarisasi Nasional, 2001).

Dijelaskan juga dalam aturan per SNI 03-6197 2011 mengenai perencanaan sistem pencahayaan buatan, yang menyatakan bahwa pencahayaan buatan setiap fungsi ruangan, memiliki batasan nilai maksimum dan tidak boleh melebihi daya pencahayaan tertentu dengan kata lain, tidak boleh melebihi daya pencahayaan yang diperbolehkan. Adapun rinciing batasan daya setiap fungsi ruangan yang dimaksud, dapat dilihat pada tabel berikut ini.

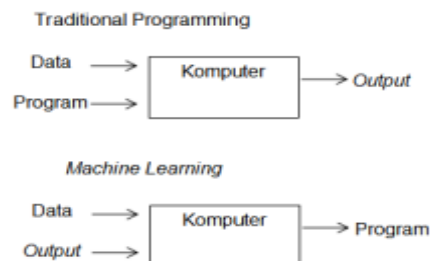
Perkantoran	
Ruang resepsionis.	7,97
Ruang direktur	7,53
Ruang kerja	7,53
Ruang komputer	7,53
Ruang rapat	7,53
Ruang gambar	15,00
Gudang arsip	3,88
Ruang arsip aktif	5,49
Ruang tangga darurat	5,27
Ruang parkir	1,40

Gambar 1. Batasan Daya Pencahayaan di tiap fungsi ruangan

4. Machine learning

Pembelajaran mesin (Machine learning) merupakan salah satu cabang dari ilmu kecerdasan buatan (Artificial intelligence), khususnya yang mempelajari tentang bagaimana computer mampu belajar dari data untuk meningkatkan kecerdasannya (Wahyono, 2018).

Menurut Mitchell (1997) computer yang memiliki kemampuan melakukan belajar dari pengalaman terhadap tugas-tugasnya dan mengalami peningkatan kinerja. Sedangkan menurut Arthur (1959) kemampuan computer untuk melakukan pembelajaran tanpa harus menjelaskan atau terprogram secara eksplisit kepada computer.



Gambar 2. Perbedaan pemrograman tradisional dan pembelajaran mesin (Brownlee, 2015; Chollet, 2018) Pada pemrograman tradisional, data dan program dijalankan pada computer untuk

menghasilkan keluaran, sedangkan pada pemrograman menggunakan pembelajaran mesin, data dan keluaran dijalankan pada computer untuk membuat program, dan kemudian program tersebut dapat digunakan dalam pemrograman tradisional (Brownlee, 2015; Chollet, 2018).

Harrington (2012) memaparkan beberapa proses untuk membangun sebuah sistem machine learning, yaitu pengumpulan data (Collect data), mempersiapkan data masukan (Prepare input data), menganalisis data masukan (Analyse input data), mengikutsertakan keterlibatan manusia (human involvement), melatih algoritma (train algorithm), menguji algoritma (test algorithm), dan menggunakan model (use it).

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam metode yang digunakan terdapat beberapa tahapan dimana tahapan tersebut dapat dilihat pada gambar 2 di bawah ini.



Gambar 3. Alur Flowchart penelitian

1. Proses pengumpulan data (collect data)
Data yang diperlukan, diperoleh dari data konsumsi listrik gedung perkantoran yang berlokasi di Bangkok, Thailand yang terdiri dari 7 lantai. Data tersebut bersifat opensource. Data konsumsi listrik (dalam kW) ini terdiri dari data unit AC individual, pencahayaan, dan beban plug di yang diperoleh dari 33 zona bangunan. Serta data sensor lingkungan dalam ruangan yang terdiri dari pengukuran suhu (oC), kelembaman relative (%), dan cahaya sekitar (lux) pada zona yang sama dengan data konsumsi listrik. Seluruh data tersebut dalam interval satu menit untuk periode 18 bulan, dimulai dari 1 Juli 2018 hingga 31 desember 2019.



Gambar 4. Gambar site plan gedung perkantoran sebagai sumber data

Dijelaskan dalam sumber data bahwa dataset berupa CU-BEMS adalah rincian konsumsi listrik tingkat bangunan (kW) ke dalam setiap zona dan setiap lantai bangunan. Dataset CU-BEMS ini menangkap pengoperasian masing-masing unit AC, pencahayaan, dan beban plug di setiap zona gedung. Yang secara keseluruhan menggunakan unit alat terdiri dari unit energy monitoring units (EMU), digital meters, multisensors, gateways dan CU-BEMS server (Pipattanasomporn, et al. 2020). Yang secara rinci dapat dilihat pada gambar tabel berikut ini.

No	EMU	Digital Meter	Multi-sensor	Gateway
Floor1	3	1	—	1
Floor2	3	4	4	1
Floor3	3	5	4	1
Floor4	3	5	4	1
Floor5	3	5	4	1
Floor6	3	5	4	1
Floor7	3	5	4	1
Total	21	30	24	7

Gambar 5. Data instrumen penelitian di tiap lantai

Data yang dikumpulkan berupa data CSV dan data awalnya terdiri dari beberapa kolom Date, z1_S1(degC), z1_S1(RH%), z3_S1(degC), z3_S1(RH%), z1_light(kW), z1_plug(kW), z2_AC1(kW), z2_AC2(kW), z2_AC3(kW), z2_AC4(kW), z2_light(kW), z2_plug(kW), z3_light(kW), z3_plug(kW), dan z2_light(kW).

Secara keseluruhan data yang diperoleh selama 18 bulan. Data tersebut mencakup interval per satu menit. Sehingga pada tahun 2018 memiliki 264.960 baris (1440 poin data per hari) untuk 184 hari, sedangkan pada tahun 2019 memiliki 525.600 baris (1440 poin data per hari) untuk 365 hari.

2. Proses seleksi data (data selection) dan labeling data

Dari data di atas, kemudian digunakan untuk menentukan informasi kondisi di lapangan, agar sesuai dengan tujuan dari penelitian ini. Diantaranya kondisi cuaca yang terbagi menjadi 3 jenis kondisi yaitu kondisi cuaca normal, panas, dan hujan. Dimana ketiga jenis kondisi ini menggunakan kriteria:

- (a) Jika kondisi cuaca hujan apabila memenuhi kriteria ; jika besar suhu dalam °C kurang dari 22,856 dan kondisi kelembaman relative (%) lebih besar dari 51,2593.
- (b) Untuk kondisi cuaca panas, apabila memenuhi kriteria ; jika besar suhu dalam oC lebih dari 22,856 dan kondisi kelembaman relatifnya (%) kurang dari 51,2593.
- (c) Sedangkan kondisi normal adalah kondisi yang tidak memenuhi kriteria yang sudah ditentukan pada kondisi cuaca hujan maupun panas. Dengan diketahuinya kondisi cuaca pada saat itu, maka dapat digunakan untuk mengetahui adanya anomaly atau kejanggalan penggunaan lampu buatan, seperti contohnya jika pada saat kondisi cuaca panas, dan cahaya buatan berlebih atau di atas standar normal, maka pencahayaan buatan di

zona tertentu dianggap janggal atau tepatnya tidak efektif.

Untuk kondisi lainnya adalah waktu kerja dan hari kerja. Dimana waktu kerja ini ditentukan dengan (c) membuat kriteria pengelompokan shift kerja yang terdiri dari dua shift yaitu shift 1 dengan kondisi waktu kerja dari jam 08.00 hingga 12.00 dan shift 2 dengan kondisi waktu kerja dari pukul 13.00 hingga 16.00. Sedangkan untuk hari kerja, diklasifikasikan ke dalam hari kerja yaitu hari senin hingga jumat (d) dan hari libur. Dari dua kondisi ini, baik kondisi waktu kerja dan hari kerja, maka dapat membantu untuk menentukan ada tidaknya anomaly pencahayaan buatan sehingga nantinya dapat diketahui akan efektif atau tidaknya pencahayaan (e) buatan pada saat kondisi cuaca tertentu, pada waktu kerja di shift 1 dan shift 2, dan di hari kerja yaitu hari senin hingga hari jumat. Setelah dilakukan pendefinisian kondisi, langkah berikutnya adalah menghilangkan kondisi yang tidak diperlukan (f) seperti pada saat libur, tidak dianalisis, karena dari data yang diperoleh, tidak ditemukan adanya penggunaan listrik, baik dari keterangan cahaya buatan, maupun plug yang ada di setiap zona. Kondisi-kondisi yang telah ditentukan tersebut, dilakukan agar tujuan penelitian dapat tepat sasaran, sesuai kebutuhan yang diperlukan untuk menganalisis efektif atau tidak pencahayaan buatan di setiap ruangan yang ada di lantai 1. Atau lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Data awal pencahayaan buatan tiap ruangan

Date	z1_light(kW)	z2_light(kW)	z3_light(kW)	z4_light(kW)	kondisi_cuaca	hari_kerja	waktu_kerja
2018-07-02 08:00:00	0.01	16.46	37.01	0.05	Normal	Kerja	Shift 1
2018-07-02 08:01:00	0	13.35	32.95	0.04	Normal	Kerja	Shift 1
2018-07-02 08:02:00	0.02	16.51	40.98	0.07	Normal	Kerja	Shift 1
2018-07-02 08:03:00	0	16.76	42.16	0.05	Normal	Kerja	Shift 1
2018-07-02 08:04:00	0.02	14.23	37.19	0.03	Panas	Kerja	Shift 1
2018-07-02 08:05:00	0	14.61	38.41	0.04	Panas	Kerja	Shift 1
2018-07-02 08:06:00	0.01	16.09	37.14	0.1	Panas	Kerja	Shift 1
2018-07-02 08:07:00	0.02	16.53	35.9	0.04	Panas	Kerja	Shift 1
2018-07-02 08:08:00	0.01	13.63	34.18	0.07	Panas	Kerja	Shift 1
2018-07-02 08:09:00	0	16.55	35.91	0.05	Panas	Kerja	Shift 1
2018-07-02 08:10:00	0.02	16.26	37.19	0.06	Panas	Kerja	Shift 1
2018-07-02 08:11:00	0	15.9	37.18	0.07	Panas	Kerja	Shift 1
2018-07-02 08:12:00	0.02	16.26	37.19	0.06	Panas	Kerja	Shift 1
2018-07-02 08:13:00	0	15.9	37.18	0.07	Panas	Kerja	Shift 1
2018-07-02 08:14:00	0.01	15.35	37.11	0.05	Panas	Kerja	Shift 1

Setelah ditentukan kondisi baik kondisi cuaca, kondisi waktu kerja dan hari kerja, maka langkah berikutnya dalam menyeleksi data yang diperlukan adalah mendefinisikan anomaly pencahayaan di setiap zona atau ruangan di lantai 1. Langkah ini disebut juga sebagai langkah pelabelan atau labeling data. Labeling data digunakan untuk

Tabel 2. Definisi Kondisi pencahayaan buatan tiap ruangan

Date	z1_light(kW)	z2_light(kW)	z3_light(kW)	z4_light(kW)	kondisi_cuaca	hari_kerja	waktu_kerja	anomaly_z1	anomaly_z2	anomaly_z3	anomaly_z4
2018-07-02 08:00:00	0.01	16.46	37.01	0.05	Normal	Kerja	Shift 1	4	1	1	4
2018-07-02 08:01:00	0	13.35	32.95	0.04	Normal	Kerja	Shift 1	4	1	1	4
2018-07-02 08:02:00	0.02	16.51	40.98	0.07	Normal	Kerja	Shift 1	4	1	1	4
2018-07-02 08:03:00	0	16.76	42.16	0.05	Normal	Kerja	Shift 1	4	1	1	4
2018-07-02 08:04:00	0.02	14.23	37.19	0.03	Panas	Kerja	Shift 1	4	1	1	4
2018-07-02 08:05:00	0	14.61	38.41	0.04	Panas	Kerja	Shift 1	4	1	1	4
2018-07-02 08:06:00	0.01	16.09	37.14	0.1	Panas	Kerja	Shift 1	4	1	1	4
2018-07-02 08:07:00	0.02	16.53	35.9	0.04	Panas	Kerja	Shift 1	4	1	1	4
2018-07-02 08:08:00	0.01	13.63	34.18	0.07	Panas	Kerja	Shift 1	4	1	1	4
2018-07-02 08:09:00	0	16.55	35.91	0.05	Panas	Kerja	Shift 1	4	1	1	4
2018-07-02 08:10:00	0.02	16.26	37.19	0.06	Panas	Kerja	Shift 1	4	1	1	4
2018-07-02 08:11:00	0	15.9	37.18	0.07	Panas	Kerja	Shift 1	4	1	1	4
2018-07-02 08:12:00	0.02	16.26	37.19	0.06	Panas	Kerja	Shift 1	4	1	1	4
2018-07-02 08:13:00	0	15.9	37.18	0.07	Panas	Kerja	Shift 1	4	1	1	4
2018-07-02 08:14:00	0.01	15.35	37.11	0.05	Panas	Kerja	Shift 1	4	1	1	4

mendefinisikan anomaly dengan menggunakan kriteria sebagai berikut;

- (a) Terdefiniskan 1, atau tidak efektif pada waktu jam kerja shift 1 jika pada kolom z1_light(kW), z2_light(kW), z3_light(kW), dan z4_light(kW) nilainya lebih besar dari yang ditentukan yaitu 10, dengan kondisi cuaca panas dan normal.
- (b) Terdefiniskan 2, atau normal jika pada waktu jam 3. kerja di shift 1, kondisi pada kolom z1_light(kW),

z2_light(kW), z3_light(kW), dan z4_light(kW) lebih besar dari nilai yang ditentukan yaitu 10, namun kondisi cuacanya hujan.

Didefinisikan 3, atau normal jika pada waktu jam kerja di shift 2, kondisi pada kolom z1_light(kW), z2_light(kW), z3_light(kW), dan z4_light(kW) lebih besar dari nilai yang ditentukan yaitu 10, dengan seluruh jenis kondisi cuaca, baik itu panas, normal maupun hujan.

Didefinisikan 4, atau normal jika pada waktu jam kerja shift 1, kondisi pada kolom z1_light(kW), z2_light(kW), z3_light(kW), dan z4_light(kW) lebih kecil dari nilai yang ditentukan yaitu 10, dengan kondisi cuaca panas dan normal.

Didefinisikan 5, atau tidak efektif pada saat waktu jam kerja shift 1, kondisi pada kolom z1_light(kW), z2_light(kW), z3_light(kW), dan z4_light(kW) lebih kecil dari nilai yang ditentukan yaitu 10, dengan kondisi cuaca hujan

Didefinisikan 6, atau tidak normal pada saat waktu jam kerja shift 2, kondisi pada kolom z1_light(kW), z2_light(kW), z3_light(kW), dan z4_light(kW) lebih kecil dari nilai yang ditentukan yaitu 10, dan di semua kondisi cuaca baik itu panas, normal dan hujan.

Untuk penjelasan setiap definisi yang ditentukan seperti pada definisi di atas adalah sebagai berikut; Kondisi 1 pencahayaan buatan dikatakan tidak normal, beserta kondisi 4 pencahayaan normal, karena pada saat kondisi cuaca panas dan normal seharusnya pencahayaan buaatannya relative tidaklah tinggi, karena seharusnya lebih banyak menggunakan pencahayaan alami siang hari. Namun kenyataannya apabila masih ditemukan kondisi dengan pencahayaan buatan yang melebihi nilai yang seharusnya maka dikatakan tidak efektif. Kondisi 2 dikatakan normal karena pada saat cuaca hujan, karena pencahayaan alami terhalang oleh mendung maka memang sudah semestinya pencahayaan lebih banyak dikonsumsi. Namun sebaliknya jika kondisi cuaca hujan, konsumsi pencahayaan buaatannya lebih kecil, maka pada definisi 5 atau tidak normal terpenuhi. Kondisi 3 dinyatakan normal, karena apabila waktu kerja sore hari atau di shift 2, memang sudah wajar jika lebih banyak menggunakan pencahayaan buatan,

mengingat kondisi sore hari cukup minim pencahayaan alami siang harinya. Namun sebaliknya apabila konsumsi pencahayaan waktu kerja sore hari atau di shift 2 lebih kecil dari nilai yang ditentukan maka dikatakan tidak normal dan kondisi 6 terpenuhi. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar tabel 2.

Pemilihan fitur dan target data

Dalam tahap ini dilakukan untuk mendefinisikan kolom-kolom yang akan digunakan sebagai fitur (input) untuk melatih model dan kolom-kolom yang akan dijadikan target (output) yang nantinya akan digunakan dalam memprediksi oleh model yang sudah dilatih. Pada tahap ini, tidak semua kolom dijadikan sebagai kolom yang akan dibutuhkan pada penelitian, melainkan kolom-kolom tertentu saja yang digunakan, baik kolom input maupun kolom target. Dimana secara rinci dapat dijelaskan pembagiannya seperti berikut ini.

- (a) Kolom input berisikan nama-nama kolom yang akan dijadikan fitur atau input untuk melatih model. Dalam hal ini termasuk kolom-kolom seperti "Year", "Month", "Day", "Hour", "Minute", "kondisi_cuaca", "hari_kerja", dan "waktu_kerja".
- (b) Kolom target berisikan nama-nama kolom yang akan dijadikan target atau output yang ingin diprediksi oleh model. Dalam hal yang dimaksud kolom yang dijadikan sebagai kolom target antara lain; "anomaly_z1", "anomaly_z2", "anomaly_z3", dan "anomaly_z4".

4. Data splitting

Data splitting ialah proses membagi dataset menjadi dua bagian utama yaitu data pelatihan (training data) dan data pengujian (testing data). Hal ini dilakukan untuk melatih model pada sebagian data dan menguji kinerja model pada data yang tidak pernah dilihat sebelumnya.

Dalam tahap splitting ini menggunakan fungsi `train_test_split` dari `scikit-learn` untuk membagi dataset menjadi data pelatihan sebanyak 80% dan data pengujian sebanyak 20%. Fungsi lain yang digunakan adalah `random_state` yang digunakan untuk memastikan bahwa pembagian data menjadi tetap dan dapat direproduksi jika ingin mengulangi eksperimen.

5. Ensemble Learning

Ensemble learning adalah sekumpulan pengklasifikasian yang dilatih secara individual dimana hasil prediksi dari setiap pengklasifikasi akan digabungkan dengan beberapa cara seperti rata-rata, pengambilan sample data pelatihan dan data pengujian terbanyak dan lain-lain untuk menghasilkan prediksi akhir. Ensemble learning digunakan untuk meningkatkan kinerja model atau menangani kinerja model yang buruk. Teknik ensemble yang umum digunakan yaitu `bagging` dan `boosting`.

6. Boosting

Boosting diperkenalkan pertama kali oleh Robert Schapire pada tahun 1998 dalam (Wibowo, A. 2023), dan ini menjadi salah satu strategi pengumpulan yang dapat bekerja pada beberapa hasil pengelompokan yang lemah sehingga mereka dapat berubah menjadi hasil yang kuat. Teknik klasifikasi adalah strategi perhitungan pembelajaran yang dibuat berdasarkan beberapa karakteristik atau model prakiraan yang kemudian digunakan untuk mengelompokkan informasi baru dengan mempertimbangkan beban yang diantisipasi yang dibuat sebelumnya. Konsep ensemble dengan `boosting` bekerja melalui persiapan kumpulan model

secara berurutan dan kemudian menggabungkan seluruh model secara berurutan dan kemudian menggabungkan seluruh model untuk membuat harapan, model berikutnya mendapatkan keuntungan dari kesalahan model sebelumnya.

Penerapan metode `eXtreme Gradient Boosting (XGBoost)`

Pada tahap ini dilakukan penerapan metode `XGBoost` pada data yang akan diteliti atau dianalisis. Dari penerapan metode ini juga akan dilakukan simulasi klasifikasi dengan data yang berjumlah kecil. Adapun tahapan yang akan dilakukan adalah sebagai berikut;

- (a) Melatih model `XGBoost` menggunakan data latih.
- (b) Melakukan proses prediksi menggunakan model `XGBoost` yang sudah dilatih sebelumnya.

8. Evaluasi model

Evaluasi model menggunakan data pengujian untuk mengukur seberapa baik model dapat melakukan prediksi pada data baru yang belum pernah dilihat sebelumnya. Metric evaluasi yang umum melibatkan penggunaan ukuran-ukuran seperti akurasi, presisi, recall, atau `R-Squared`.

Apabila akurasi pada proses training model jaringan belum baik maka perlu dilakukan modifikasi dengan menggunakan `Ensemble Learning`, parameter jaringan dan pada sampel datanya. Apabila hasil akurasi sudah baik maka dilakukan proses selanjutnya yaitu pengujian dengan data validasi (Wibowo, A. 2022). Data validasi adalah data yang tidak digunakan pada proses training. Apabila akurasi dari data validasi ini kurang baik, ada kemungkinan terjadi `overfitting`, oleh karena itu jaringan perlu dimodifikasi kembali. Sehingga hasilnya sudah baik atau ada peningkatan maka jaringan ini dapat digunakan untuk memproses data tes dan proses evaluasi model. Data tes berisi sekumpulan sampel data yang digunakan untuk menghitung nilai akurasi, recall, precision, dan `F1 score`. Dan pada data test inipun juga dilakukan pelabelan secara manual. Selain itu data test juga digunakan untuk mengetahui hasil klasifikasi menggunakan Metode `CNN`. Sedangkan untuk pengujian sendiri menggunakan metode `confusion matrix`. Adapun besar nilai akurasi, recall, precision, dan `F1 score` dapat dilihat pada persamaan di bawah ini (Yulianto, Y., Wibowo, A. 2023)

$$akurasi = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100\%$$

$$recall = \frac{TP}{TP + FN} \times 100\%$$

$$precision = \frac{TP}{FP + TP} \times 100\%$$

$$F1\ score = \frac{2(recall \times precision)}{(recall + precision)} \times 100\%$$

Penerapan model

Setelah melalui proses seperti yang disebutkan di bab sebelumnya, dengan melalui proses terakhir

yaitu pelatihan sudah dilakukan, berjalan baik, dan akurasi sudah cukup baik dari penggunaan model XGBoost. Dari model yang sudah terlatih untuk mengenali pola dalam data pelatihan yang sesuai dengan anomaly yang muncul pada setiap zona di lantai 1, maka langkah berikutnya adalah melakukan proses prediksi akan efektif maupun tidaknya pencahayaan buatan di setiap zona yang telah ditentukan pada proses sebelumnya. Proses ini diistilahkan sebagai proses prediksi dengan inputan secara manual pada data baru dengan fitur yang sama, seperti fitur "Year", "Month", "Day", "Hour", "Minute", "kondisi_cuaca", "hari_kerja", dan "waktu_kerja". Setelah dimasukkan data secara manual, maka proses prediksi ini akan memperkirakan nilai anomaly sesuai definisi yang telah ditetapkan pada proses pelatihan, dan keterangan akan efektif atau normal dari pencahayaan buatan di setiap zone.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Implementasi model XGBoost

Pada dasarnya dalam penelitian uji efektifitas pencahayaan buatan, menggunakan XGBoost terdapat beberapa tahapan penting yaitu penggunaan dataset, pembersihan data, pembagian data menjadi data pelatihan dan data pengujian, pelatihan model, pengujian model, validasi dan melakukan prediksi. Untuk melakukan prediksi, terlebih dahulu memastikan bahwa model yang telah dilatih telah menghasilkan akurasi yang baik, setelah itu dilakukan proses pengujian maupun proses prediksi dengan memasukkan nilai inputan secara manual untuk mendapatkan informasi efektif atau tidaknya pencahayaan buatan di zona tertentu.
2. Proses pelatihan dan pembentukan model

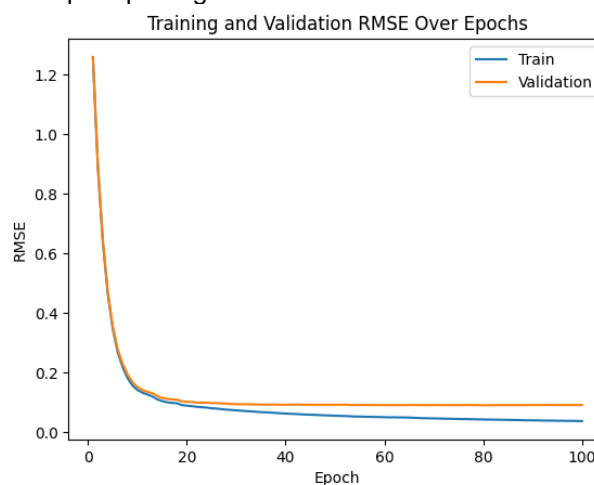
Data latih yang digunakan adalah 80% dari total keseluruhan data yang sudah terkumpul. Sehingga didapat data latih pada X dan pada Y sebanyak 15.354 dengan masing-masing fitur untuk kolom inputan dan kolom target. Dimana kolom input berupa "Year", "Month", "Day", "Hour", "Minute", "kondisi_cuaca", "hari_kerja", dan "waktu_kerja". Sedangkan untuk kolom target antara lain "anomaly_z1", "anomaly_z2", "anomaly_z3", dan "anomaly_z4". Komputasi dilakukan dengan menggunakan mode single GPU. Model yang digunakan adalah XGBoost (XGBRegressor) adalah model yang digunakan untuk melakukan prediksi. Penggunaan fitur pada model ini antara lain `early_stopping_rounds` digunakan untuk menghentikan pelatihan lebih awal jika tidak terjadi peningkatan dalam metric evaluasi setelah sejumlah iterasi tertentu dan `eval_metric` digunakan untuk menentukan metric evaluasi yang akan digunakan selama pelatihan. Kemudian untuk proses training menggunakan parameter yang tidak memiliki nilai (none) karena telah menggunakan fitur `early_stopping_rounds` dan `eval_metric` pada tahap sebelumnya. Adapun model XGBoost

selengkapnya dapat dilihat pada gambar 6 berikut ini.

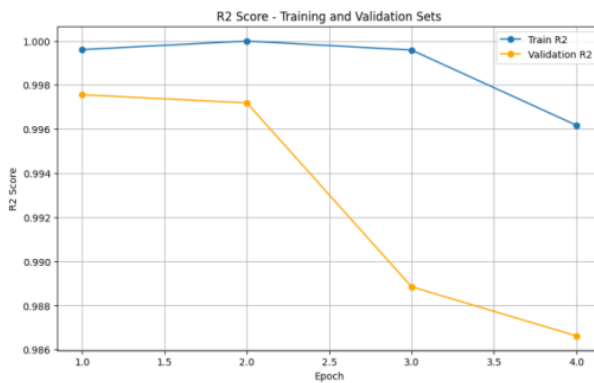
```
XGBRegressor
XGBRegressor(base_score=None, booster=None, callbacks=None,
              colsample_bylevel=None, colsample_bynode=None,
              colsample_bytree=None, device=None, early_stopping_rounds=None,
              enable_categorical=False, eval_metric=None, feature_types=None,
              gamma=None, grow_policy=None, importance_type=None,
              interaction_constraints=None, learning_rate=None, max_bin=None,
              max_cat_threshold=None, max_cat_to_onehot=None,
              max_delta_step=None, max_depth=None, max_leaves=None,
              min_child_weight=None, missing=nan, monotone_constraints=None,
              multi_strategy=None, n_estimators=None, n_jobs=None,
              num_parallel_tree=None, random_state=None, ...)
```

Gambar 6. Model XGBoost

Hasil training disajikan pada tabel 3. Dari tabel 3 ini dapat disimpulkan bahwa training jaringan memberikan akurasi yang sangat baik. Sedangkan untuk jejak proses trainingnya dapat dilihat pada grafik dari akurasi dan kesalahan selama proses training berlangsung, seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik RMSE dan R²



Gambar 8. Grafik akurasi dan kesalahan pada proses training

Dari gambar 8 grafik RMSE dan R² terdapat informasi mengenai keakurasian dari model yang digunakan untuk pelatihan maupun tahap validasi. Data pelatihan sendiri digunakan untuk melatih model machine learning yang digunakan, dimana data ini digunakan untuk model dalam memahami hubungan antara fitur (input) dan label (output). Sedangkan data validasi digunakan selama proses pelatihan untuk memantau sejauh mana model dapat menggeneralisasi dari data pelatihan ke data yang tidak pernah dilihat sebelumnya. Tahap ini

memungkinkan untuk membantu dalam penyesuaian hyperparameter dan pencegahan overfitting, dan digunakan untuk mengukur kinerja model pada data yang tidak digunakan dalam pelatihan.

Oleh karena itu, untuk mengevaluasi proses pelatihan maupun proses validasi, salah satu cara yang dapat digunakan adalah dengan melihat kinerja melalui grafik RMSE (Root Mean Squared Error) dan R-squared (R²). Semakin rendah nilai RMSE, maka akan semakin baik model dalam memprediksi data. Sebaliknya, semakin tinggi RMSE, semakin besar kesalahan prediksi model Machine learning yang digunakan. Berbeda dengan R², dimana nilai R² berkisar antara 0 hingga 1, nilai 0 berarti model sama sekali tidak dapat menjelaskan variasi dalam data, sedangkan nilai 1 berarti model dapat menjelaskan semua variasi dalam data. Sedangkan MSE (Mean Squared error) adalah metrik yang dipakai untuk mengukur rata-rata dari kesalahan kuadrat selama proses pelatihan model, dan MSE ini digunakan untuk menghitung sejauh mana model mendekati data pelatihan. Semakin rendah nilai MSE, menunjukkan model memiliki sedikit kesalahan kuadrat dalam memprediksi data pengujian. Sedangkan untuk MAE (Mean Absolute Error) adalah metrik yang mengukur rata-rata kesalahan absolut (tanpa kuadrat) dalam mengevaluasi sejauh mana model berkinerja pada data pelatihan. Semakin kecil nilai MAE maka dapat menunjukkan bahwa model memiliki kesalahan absolute yang rendah dalam memprediksi data pengujian.

Jika dilihat dari grafik yang diperoleh baik RMSE maupun R² dapat disimpulkan bahwa pelatihan model terhadap data training maupun validasi memberikan akurasi yang sangat baik. Hal ini dapat dibuktikan bahwa grafik RMSE menunjukkan adanya penurunan secara signifikan. Baik proses training yang bernilai 0.028 dan validasi yang bernilai 0.085. Selain itu diperkuat oleh grafik R² yang menyatakan bahwa proses training dan validasi mengalami kenaikan hingga mendekati 1. Dimana proses training R² sebesar 0.998 dan validasi R² sebesar 0.992. Sedangkan nilai MAE pada tahap pelatihan adalah 0.0061 sedangkan validasi adalah 0.011, untuk nilai MSE pada proses pelatihan adalah 0.0015 dan untuk validasi adalah 0.0085. Atau lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 3 berikut ini.

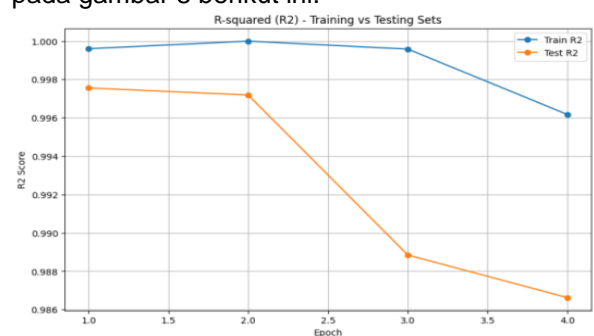
Tabel 3. Tingkat akurasi data training dan validasi

Evaluasi model regresi	Training	Validasi
RMSE	0.028	0.085
R ²	0.99	0.99
MAE	0.0061	0.011
MSE	0.0015	0.0085

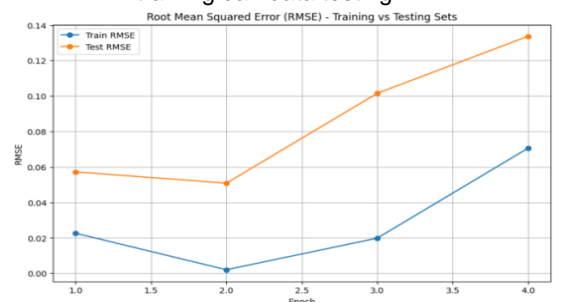
3. Proses pengujian dan proses prediksi
 Proses pengujian dan proses prediksi merupakan dua tahap penting dalam evaluasi dan penggunaan model machine learning. Perbedaan utama antara keduanya adalah bahwa proses pengujian adalah tahap evaluasi menggunakan data uji yang sudah ditentukan, sedangkan proses prediksi adalah tahap dimana model sebenarnya digunakan untuk membuat prediksi atas data yang belum dilihat sebelumnya. Dan proses prediksi sendiri merupakan hasil akhir dari proses pelatihan dan evaluasi model, yang bertujuan untuk memberikan nilai prediksi yang berguna dalam konteks aplikasi dunia nyata. Selama proses pengujian, metrik evaluasi seperti Mean Squared Error (MSE), Mean Absolute Error (MAE), R-squared (R²), akurasi, presisi, recall, atau F1-score dapat digunakan untuk mengukur kinerja model sesuai dengan jenis masalah yang dihadapi.

Skenario seperti tersebut di atas, adalah tahapan yang digunakan dalam pengujian dan proses pendektaksian pada penelitian yang dilakukan, yaitu mengenai uji keefektifan pencahayaan pada suatu ruangan. Proses pengujian dilakukan dengan menggunakan data uji dengan presentase 20% terhadap total dataset yang telah dikumpulkan, atau jika data totalnya sebanyak 71.621 data, maka data yang digunakan untuk proses pengujian sebanyak 3839 data. Dan hasil pengujian didapatkan nilai evaluasi untuk RMSE (Root Mean Square Error) yang sangat rendah yaitu 0.0085, dan nilai R² sangat tinggi yaitu 0.9925 dan hampir bernilai 1.

Hal ini dapat terlihat pada beberapa grafik perbandingan nilai Loss RMSE pada data pelatihan dan data pengujian, seperti terlihat pada gambar 8 berikut ini.

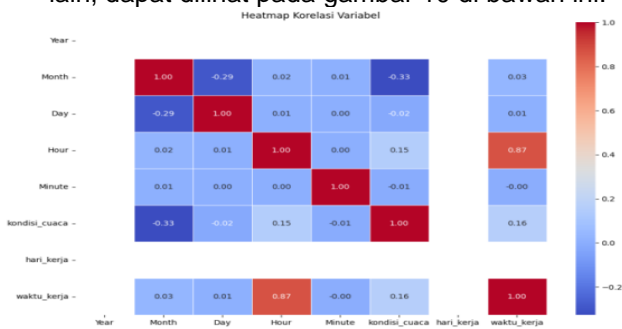


Gambar 8. Grafik perbandingan R2 data training dan data testing



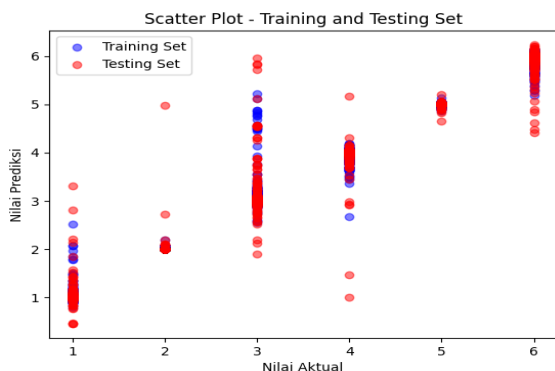
Gambar 9. Grafik perbandingan RMSE data training dan data testing

Gambar 8 dan 9 merupakan bentuk visualisasi bagaimana loss berubah selama pelatihan. Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa loss atau kesalahan dalam memprediksi data pelatihan dan pengujian semakin menurun secara signifikan dan pada mencapai titik terendah di iterasi terbaiknya. Dengan nilai loss dibawah 0.1. sehingga dapat dipastikan bahwa model yang digunakan dan pendekatan yang dilakukan secara keseluruhan mendekati nilai sebenarnya atau ground truth. Selain itu, dapat disimpulkan bahwa model dapat memahami data dan melakukan prediksi yang akurat. Untuk memahami hubungan atau asosiasi antara variabel dalam dataset serta mengetahui pengaruh kuat satu variabel dengan variabel lain, dapat dilihat pada gambar 10 di bawah ini.



Gambar 10. Visualisasi of Heatmap corelation

Dari gambar visualisasi heatmap korelasi dapat disimpulkan bahwa atribut yang memiliki warna biru tua adalah atribut yang kurang relevan dengan atribut outputnya. Sedangkan untuk atribut warna merah tua adalah atribut yang relevan dengan atribut outputnya. Dan jika diamati pada gambar tersebut, warna merah di tiap atribut inputan tepat pada tiap atribut outputan sehingga dapat dipastikan bahwa setiap atribut inputan dan outputannya menunjukkan korelasi yang sangat kuat atau memiliki hubungan linier sempurna antara atribut inputan dengan outputan. Sehingga dapat berdampak signifikan terhadap variabel target. Kemudian untuk mengetahui perbandingan antara nilai aktual dengan hasil prediksi dari model, dapat dilihat pada grafik scatter plot seperti pada gambar 11 di bawah ini.



Gambar 11. Grafik Scatter Plot

Dari grafik scatter plot pada gambar 9 dapat disimpulkan sebaran titik-titik dengan warna biru tua merupakan nilai dataset training, dan merah muda adalah nilai prediksi. Terlihat untuk warna biru muda mendekati atau cocok dengan warna biru tua. Selain terlihat mendekati atau cocok, pada gambar tersebut, dapat dilihat bahwa untuk kedua warna juga cenderung semakin mendekati garis diagonal maka dapat dipastikan semakin baik kinerja model yang digunakan untuk memprediksi keefektifan pencahayaan buatan di setiap zona.

4. Proses pengujian keefektifan pencahayaan buatan pada suatu ruangan

Pada tahap pengujian keefektifan pencahayaan buatan, dilakukan dengan terlebih dahulu menentukan batas ambang yang sesuai aturan SNI yang berkaitan dengan pencahayaan buatan pada siang hari dengan kondisi cuaca panas dan normal di suatu perkantoran. Adapun nilai threshold yang diambil adalah sebesar 10. Nilai threshold ini, diberlakukan pada setiap ruangan yang ada di lantai 1, mengenai efektif atau tidaknya sesuai dengan penjelasan pada tahap data selection. Namun keputusan akan normal atau tidak efektifnya penggunaan pencahayaan buatan, bergantung pada tiga factor utama, yaitu ; besar konsumsi cahaya di tiap ruangan, kondisi cuaca, waktu kerja dan hari kerja. Sehingga normal atau tidak efektifnya pencahayaan buatan tergantung pada proses pelatihan mengenai 4 faktor tersebut. Factor ini jugalah yang dijadikan sebagai dasar untuk menentukan labeling data, dimana pada proses labeling ini menggunakan 6 kelas. Secara teknis pengujian keefektifan pencahayaan buatan ini dilakukan dengan mengisi atau menginput nilai-nilai tertentu pada beberapa besaran seperti Year, Month, Day, Hour, Minute, kondisi_cuaca, hari_kerja, dan waktu_kerja. Setelah inputan tersebut 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 4 berikut di bawah ini. Setelah dilakukan penginputan nilai maka untuk hasil prediksi dan hasil informasi apakah normal atau tidak efektif pencahayaan buatan baik pada zona 1, zona 2, zona 3 dan zona 4, dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 4. Data inputan data pada tahap prediksi

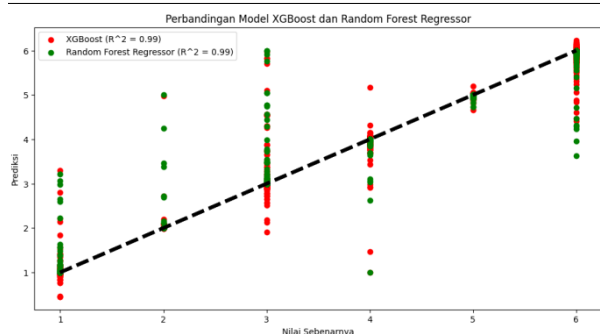
No	Year	Month	Day	Hour	Minute	Kondisi cuaca	Hari kerja	Waktu kerja
1	2023	11	13	10	30	Hujan	Kerja	Shift 1
2	2023	2	9	13	30	hujan	Kerja	Shift 2
3	2019	10	1	8	40	panas	Kerja	shift 1
4	2020	5	7	11	20	panas	Kerja	shift 1

Tabel 5. Hasil Prediksi setelah menginput data

No	Anomaly tiap zona	Hasil prediksi : 2023, 11-13	Hasil prediksi : 2023-2-9	Hasil prediksi : 2019-10-1	Hasil prediksi : 2020-5-7
1	Z1	5; "Tidak Efektif, karena pada saat kondisi cuaca Hujan, dan waktu kerja di shift 1, seharusnya konsumsi pencahayaan buatannya tinggi bukan malah kecil",	6; "Tidak Efektif, karena pada saat kondisi panas, normal dan hujan, waktu kerja di shift 2, seharusnya konsumsi pencahayaan buatannya tinggi bukan malah kecil"	4; "Normal, karena pada saat kondisi cuaca panas maupun normal, pada waktu kerja di shift 1 memang seharusnya konsumsi pencahayaan buatannya rendah",	4; "Normal, karena pada saat kondisi cuaca panas maupun normal, pada waktu kerja di shift 1 memang seharusnya konsumsi pencahayaan buatannya rendah",
2	Z2	2; "Normal, karena pada saat kondisi Hujan, waktu kerja di shift 1, konsumsi pencahayaan buatannya harus tinggi",	3; "Normal, karena pada saat kondisi cuaca panas, normal dan hujan, pada waktu kerja shift 2 memang membutuhkan penerangan lampu yang relative tinggi",	4; "Normal, karena pada saat kondisi cuaca panas maupun normal, pada waktu kerja di shift 1 memang seharusnya konsumsi pencahayaan buatannya rendah",	1; "Tidak Efektif, karena pada saat kondisi cuaca panas dan normal, waktu kerja shift 1 konsumsi pencahayaan buatannya tinggi"
3	Z3	2; "Normal, karena pada saat kondisi Hujan, waktu kerja di shift 1, konsumsi pencahayaan buatannya harus tinggi",	3; "Normal, karena pada saat kondisi cuaca panas, normal dan hujan, pada waktu kerja shift 2 memang membutuhkan penerangan lampu yang relative tinggi",	4; "Normal, karena pada saat kondisi cuaca panas maupun normal, pada waktu kerja di shift 1 memang seharusnya konsumsi pencahayaan buatannya rendah",	1; "Tidak Efektif, karena pada saat kondisi cuaca panas dan normal, waktu kerja shift 1 konsumsi pencahayaan buatannya tinggi",
4	Z4	5; "Tidak Efektif, karena pada saat kondisi cuaca Hujan, dan waktu kerja di shift 1, seharusnya konsumsi pencahayaan buatannya tinggi bukan malah kecil",	6; "Tidak Efektif, karena pada saat kondisi panas, normal dan hujan, waktu kerja di shift 2, seharusnya konsumsi pencahayaan buatannya tinggi bukan malah kecil"	4; "Normal, karena pada saat kondisi cuaca panas maupun normal, pada waktu kerja di shift 1 memang seharusnya konsumsi pencahayaan buatannya rendah",	4; "Normal, karena pada saat kondisi cuaca panas maupun normal, pada waktu kerja di shift 1 memang seharusnya konsumsi pencahayaan buatannya rendah",

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. Sebagai perbandingan terhadap nilai keakuratan, maka digunakan model lain yaitu RandomForestRegressor. Untuk model XGBoost berwarna merah, sedangkan untuk model RandomForestRegressor berwarna hijau. Dari grafik yang dihasilkan, terdapat dua subplot yang membandingkan hasil prediksi dengan nilai sebenarnya untuk dua model berbeda, yaitu XGBoost dan RandomForestRegressor. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan jika titik-titik biru mempresentasikan hasil prediksi dari model XGBoost, sedangkan titik-titik merah

merepresentasikan hasil prediksi dari model RandomForestRegressor untuk setiap sampel pada sumbu x dan nilai sebenarnya pada sumbu y. Sedangkan garis hitam putus-putus merupakan garis referensi dengan kemiringan 45o yang menunjukkan hubungan langsung antara nilai sebenarnya dan hasil prediksi. Jika penumpukan titik-titik biru dan titik merahnya berada di dekat garis ini, mengartikan bahwa model XGBoost dan RandomForestRegressor memberikan prediksi yang baik. Dan hal ini diperkuat dengan keterangan dari nilai R-Squared yang mendekati 1.0 yang mengartikan bahwa kedua model sangat baik dalam menjelaskan variasi dalam target seperti pada gambar 12.



Gambar 12. Grafik Scatter Plot

KESIMPULAN

Pada penelitian analisis keefektifan pencahayaan buatan menggunakan data sensor lingkungan dalam ruangan dengan menggunakan Machine Learning implementasi pada model XGBoost telah berhasil dilakukan. Hasil prediksi keefektifan pencahayaan buatan pada tahap pelatihan diperoleh akurasi yang sangat baik dengan nilai R2 0,99 atau sebesar 99%, maka dapat disimpulkan bahwa model XGBoost mampu menjelaskan variasi data yang sangat baik. Dengan kata lain model secara sempurna mampu mengenali setiap data inputan yang diberikan dan mampu dengan sempurna memprediksi perubahan dalam variabel targetannya dalam hal ini keefektifan pencahayaan buatan di setiap area atau zona. Sedangkan jika dilihat pada nilai MSE (Mean Square Error) memiliki nilai yang sangat rendah, yaitu sebesar 0.0085, 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. Semakin rendah RMSE, maka akan semakin berkualitasnya model untuk memprediksi. Dari hasil pengujian nilai RMSE memiliki nilai yang sangat rendah, yaitu sebesar 0.092, hal ini menunjukkan bahwa kesalahan dalam memprediksi keefektifan pencahayaan buatan di setiap area atau zona dari model yang dibangun sangatlah kecil. Serta mampu menggeneralisasi dan mampu memberikan hasil akurasi yang baik ketika memasukkan data inputan baru yang belum pernah dilihat sebelumnya. Dapat dibuktikan ketika model mampu untuk mengenali dengan akurat, prediksi akan normal atau tidak efektifnya pencahayaan buatan, ketika dimasukkan nilai waktu, kondisi cuaca, waktu kerja dan hari kerja diinputkan secara manual.

DAFTAR PUSTAKA

Lippmeier, Georg. 1994. *Bangunan Tropis*, Jakarta : Erlangga.

Wahyono, Teguh. (2018). *Fundamental Of Python For Machine Learning (Dasar-dasar Pemrograman Python untuk Machine Learning dan Kecerdasan Buatan)*. Gava Media, Yogyakarta.

Mitchell, Tom M. (1997). *Machine Learning*, McGraw-Hill Companies Inc, New York.

Arthur, L Samuel. (1959). *Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers*, IBM Journal.

Brownlee, Jasson. (2015). *Basic Concepts in Machine Learning; Machine Learning Mastery*, <https://machinelearningmastery.com>, diakses tanggal 27 Oktober 2023.

Chollet, Francois. (2018). *Deep Learning with Python*, Manning Publications Co, New York.

Harrington, Peter. (2012). *Machine Learning in Action*, Manning Publications Co, New York.

Manurung. (2012). *Pencahayaan alami dalam arsitektur*. Yogyakarta. ANDI Yogyakarta

Jamala, Soewarno, Suryabrata, Kusumawanto. (2013). *Kenyamanan Visual Ruang Kerja Kantor*. Forum Teknik Vol. 35, No.1 Januari 2013

Budiman, L., et al. (2012). *Desain Pencahayaan pada Ruang Kelas SMA Negeri 9 Surabaya*. DIMENSI INTERIOR, Vol. 10, No. 1, pp. 33-41, DOI: 10.9744/interior.10.1.33-41

Wulandari, R.R., et al. (2021). *Peran Pencahayaan Terhadap Suasana Ruang Interior Beehive Boutique Hotel Bandung*. DIVAGATRA, Vol. 1, No. 2, pp. 179-191.

Satwiko. (2004). *Prasasto Fisika Bangunan Edisi I*. Yogyakarta: ANDI

Subagyo, A. (2017). *Kualitas Penerangan yang Baik sebagai Penunjang Proses Belajar Mengajar di Kelas*. ORBITH, Vol. 13, No. 1, 2017, pp 21-27

Sugiarto, Agus, and Yustina Ernie Pravitasmara Dewi. 2016. *Green Office - Manajemen Kantor Berkonsep Ramah Lingkungan*. Salatiga: Gava Media.

Wibowo, A., Susanto. (2023). *Penelusuran Jejak Bangunan Kolonial di Indonesia Berbasis Façade Bangunan Menggunakan Metode CNN Arsitektur VGG16*. ARCADE, Vol. 7, No. 3, pp. 521-528, DOI: <https://dx.doi.org/10.31848/arcade.v7i3.3252>

Rahmania & Sugini. (2013). *Evaluasi Tingkat Kenyamanan Visual Yang Di Tinjau Dari Aspek Pengoptimalisasian Pencahayaan Alami*

Fleta, A. (2021). *Analisis Pencahayaan Alami dan Buatan pada Ruang Kantor terhadap Kenyamanan Visual Pengguna*. JURNAL PATRA, Vol. 3, No. 1, 2021, DOI: <https://doi.org/10.35886/patra.v3i1.182>

Amin. (2011). *Optimasi Sistem Pencahayaan Dengan Memanfaatkan Cahaya Alami*. Jurnal Ilmiah Foristek Vol.1, No. 1, Maret 2011.

Pipattanasomporn, M., Chitalia, G., Songsiri, J. et al. *CU-BEMS, smart building electricity consumption and indoor environmental sensor datasets*. Sci Data 7, 241 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00582-3>.

Wibowo, A. (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>.

Wibowo, A. & Putra, M. 2021. *Pemanfaatan kamera DSLR Canon 1200D untuk pengamatan fotometri bintang variabel*. Seminar Panorama Antariksa 2021, 978, 78-81, 2022.

- 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>.
- SNI 03-2396-2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Alami pada Bangunan Gedung. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-6197 2011. tentang Konservasi Energi pada Sistem Pencahayaan. Badan Standarisasi Nasional, pp. 1-38