

Perancangan Sistem Aplikasi Prediksi Risiko pada Koneksi Komponen Listrik Panel Control Motor Chiller Menggunakan Thermal Imagers Fluke dengan Metode AI-Vision

Dhami Johar Damiri¹; Kharisma Hikmawan¹

1. Institut Teknologi PLN, Institut Teknologi PLN, Menara PLN, Jl. Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi, Cengkareng, Jakarta Barat, DKI Jakarta 11750, Indonesia

^{)}Email: kharisma1810007@itpln.ac.id*

Received: 10 Maret 2023 | Accepted: 29 Januari 2024 | Published: 29 Januari 2024

ABSTRACT

The high demand for data and information in the digital era requires the availability of supporting facilities in the form of data centers. As a physical facility, a data center consists of an array of interconnected electronic devices that form a system. Large amounts of data processing activity can cause electronic devices to become overheated. Overheated temperatures on electronic components can cause problems such as damage to devices and decreased performance, resulting in the loss of important data and threatening the continuity of business operations. Optimal data center temperatures can be maintained by using a chiller that is monitored regularly. Through this research, the authors designed the AI-Vision system to make risk predictions for chillers in the H2-01 Karawang data center. AI-Vision is an artificial intelligence application system using machine learning methods to calculate the risk prediction of the condition of electrical components in a chiller based on images captured by thermal imagers fluke. The AI-Vision application uses image processing and the K-Nearest Neighbors algorithm to produce risk predictions that are adjusted to standards issued by PT. DCI by adopting IEC 60269 and PUIL 2011 standards, as well as research conducted by EPRI (Electric Power Research Institute). The results of this study are in the form of a risk prediction with an accuracy value of 90%.

Keywords: Thermal Imagers Fluke, Artificial Intelligence, Machine Learning, K-Nearest Neighbors

ABSTRAK

Kebutuhan yang tinggi akan data dan informasi di era digital menuntut tersedianya fasilitas pendukung berupa data center. Sebagai sebuah fasilitas berbentuk fisik, data center terdiri dari kumpulan perangkat elektronik yang saling terhubung dan membentuk sistem. Aktivitas pemrosesan data dalam jumlah yang besar dapat menyebabkan perangkat elektronik mengalami kenaikan suhu yang tinggi. Suhu yang terlalu panas pada komponen elektronik dapat menyebabkan masalah seperti kerusakan pada perangkat dan penurunan kinerja yang mengakibatkan kehilangan data penting dan mengancam kelangsungan operasi bisnis. Suhu data center yang optimal dapat dijaga dengan menggunakan pendingin (chiller) yang diawasi secara berkala. Melalui penelitian ini, penulis merancang sistem AI-Vision untuk melakukan prediksi risiko pada koneksi komponen listrik berupa chiller pada data center H2-01 Karawang. AI-Vision merupakan sistem aplikasi kecerdasan buatan menggunakan metode machine learning melakukan perhitungan prediksi risiko kondisi komponen listrik pada chiller berdasarkan gambar hasil tangkapan thermal imagers fluke. Aplikasi AI-Vision menggunakan pengolahan citra dan algoritma K-Nearest Neighbors untuk menghasilkan prediksi risiko yang disesuaikan dengan standar yang dikeluarkan oleh PT. DCI dengan mengadopsi standar IEC 60269 dan PUIL 2011 serta penelitian yang dilakukan EPRI (Electric Power Research Institute). Hasil dari penelitian ini berupa prediksi risiko dengan nilai akurasi sebesar 90%.

Kata kunci: Thermal Imagers Fluke, Kecerdasan Buatan, Machine Learning, K-Nearest Neighbors

1. PENDAHULUAN

Abad ke-20 merupakan masa keemasan proses digitalisasi berbagai aspek kehidupan manusia. Kiprah kemajuan teknologi dan informasi menjadi pemicu pola aktivitas dan cara hidup manusia yang berubah dengan pesat. Kebutuhan akan akses data dan informasi yang cepat, perlu didukung oleh infrastruktur yang handal, diantaranya ialah dengan memanfaatkan data center (DC) atau juga dikenal sebagai pusat data, yang menjadi pusat beragam data dan informasi diolah dan disebarkan ke penjuru dunia. Sebagai sebuah fasilitas berbentuk fisik, data center terdiri dari kumpulan perangkat elektronik yang saling terhubung dan membentuk sistem. Aktivitas pemrosesan data dalam jumlah yang besar dapat menyebabkan perangkat elektronik mengalami kenaikan suhu yang tinggi. Suhu yang terlalu panas pada komponen elektronik dapat menyebabkan beberapa masalah, seperti kerusakan pada perangkat dan penurunan kinerja. Sehingga penting untuk menjaga suhu perangkat elektronik di data center agar tetap stabil dan tidak terlalu panas dengan menggunakan sistem pendingin yang efektif (*chiller*) yang dapat menjaga suhu perangkat elektronik di data center.

Pada penelitian ini penulis meneliti panel *control motor chiller* CHWP (*Chilled Water Pump*) dan CWP (*Condenser Water Pump*) pada data center H2-01 PT. DCI di Karawang terutama pada kabel NYAF 1.5 mm², 2.5 mm² serta komponen listrik seperti kontaktor, MCB dan *auxiliary relay*. Panel chiller berfungsi untuk mengatur *start* dan *stop*nya motor untuk memompa air masuk dan keluarnya mesin *chiller* sebagai mesin pemroses air agar menghasilkan dan menjaga suhu yang diinginkan. Upaya *preventive* dan *maintenance* dalam bentuk kegiatan pemeliharaan dan pemantauan kondisi perangkat elektronik yang ada pada data center, perlu dilakukan dengan rutin dan terdata dengan rapi. Aktivitas perekaman kondisi suhu perangkat elektronik kemudian diolah oleh sistem AI-Vision menggunakan teknologi *Artificial Intelligent* (kecerdasan buatan) yang dapat memproses data berupa gambar *thermal* hasil pembacaan *thermal imagers fluke* kedalam klasifikasi suhu untuk selanjutnya dapat diprediksi dan ditentukan jenis tindakan apa yang disarankan oleh sistem.

Sistem AI-Vision yang dibangun menggunakan teknik *machine learning* dengan algoritma K-Nearest Neighbors sebagai model algoritma prediksinya. Hasil prediksi yang dihasilkan dikomparasi dengan prediksi risiko yang dijadikan skala acuan menggunakan standar kebijakan yang dikeluarkan oleh PT. DCI dengan mengadopsi standar IEC 60269 dan PUIL 2011 serta penelitian yang dilakukan EPRI (*Electric Power Research Institute*). Hasil prediksi yang dihasilkan oleh sistem AI-Vision kemudian diinformasikan kepada stakeholder melalui aplikasi telegram dan email sebagai upaya *preventif* dan *early warning* kondisi komponen listrik *chiller* di data center.

1.1. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana membangun sistem aplikasi prediksi risiko pada koneksi komponen listrik panel *control motor chiller* di data center?
2. Bagaimana menggabungkan fungsi *thermal imagers fluke* dengan metode AI-Vision kedalam sistem aplikasi prediksi risiko pada koneksi komponen listrik panel *control motor chiller* di data center?
3. Bagaimana prediksi risiko yang dihasilkan dari sistem aplikasi prediksi risiko pada koneksi komponen listrik panel *control motor chiller* di data center?

1.2. Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membangun sistem aplikasi yang dapat digunakan sebagai prediksi risiko koneksi komponen listrik panel *control motor chiller* di data center.
2. Mengembangkan sistem aplikasi yang dapat menyimpan histori berupa gambar yang dihasilkan oleh thermal imager fluke, dan prediksi risiko yang dihasilkan oleh metode AI-Vision.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

Pada penelitian ini, dua buah metode atau algoritma penulis gunakan untuk mengolah data input berupa data uji pemeriksaan peralatan listrik pada chiller.

2.1. Image Processing

Sistem AI-Vision dioperasikan dengan mengunggah gambar *thermal* peralatan listrik pada *chiller* yang dihasilkan oleh thermal imagers fluke. Gambar tersebut kemudian diolah didalam sistem menggunakan teknik *image processing* (pengolahan citra) untuk mengetahui sebaran suhu dan *hot point* perangkat elektronik yang diperiksa. *Image processing* dilakukan dengan mengkonversi gambar *thermal* kedalam bentuk RGB (*Red, Green, Blue*) dan HSV (*Hue, Saturation, Value*) untuk mendapatkan informasi suhu komponen peralatan listrik pada *chiller* data center. Konversi RGB kedalam bentuk HSV menggunakan persamaan matematika sebagai berikut:

$$R' = \frac{R}{255} \quad (1)$$

$$G' = \frac{G}{255} \quad (2)$$

$$B' = \frac{B}{255} \quad (3)$$

$$C_{max} = \max(R', G', B') \quad (4)$$

$$C_{min} = \min(R', G', B') \quad (5)$$

$$\Delta = C_{max} - C_{min} \quad (6)$$

$$H = \begin{cases} 0^\circ \Delta = 0 \\ 60^\circ \times \left(\frac{G' - B'}{\Delta} \bmod 6 \right), C_{max} = R' \\ 60^\circ \times \left(\frac{B' - R'}{\Delta} + 2 \right), C_{max} = G' \\ 60^\circ \times \left(\frac{R' - G'}{\Delta} + 4 \right), C_{max} = B' \end{cases} \quad (7)$$

$$S = \begin{cases} 0, C_{max} = 0 \\ \frac{\Delta}{C_{max}}, C_{max} \neq 0 \end{cases} \quad (8)$$

$$V = C_{max} \div 255 \quad (9)$$

2.2. K-Nearest Neighbors

Sebagai algoritma klasifikasi, K-Nearest Neighbors dalam sistem AI-Vision menggunakan data training berupa data standar klasifikasi tindakan terhadap peralatan listrik di data center berdasarkan kelas suhunya, sedangkan data uji yang digunakan merupakan data hasil pengolahan citra terhadap peralatan listrik pada chiller berupa panel *control motor chiller* CHWP dan CWP. Adapun data *training* yang digunakan seperti pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Data *training*

Class	Suhu Bawah (°C)	Suhu Atas (°C)	Aksi
1.	0	10	<i>Maintenance</i>
2.	10	20	<i>Maintenance</i>
3.	20	30	<i>Maintenance</i>
4.	30	40	<i>Maintenance</i>
5.	40	50	<i>Maintenance</i>
6.	50	60	<i>Investigate</i>
7.	60	70	<i>Investigate</i>
8.	70	80	<i>Replace</i>
9.	80	90	<i>Replace</i>
10.	90	100	<i>Replace</i>

Data pemeriksaan peralatan listrik diujikan dengan data training menggunakan algoritma K-Nearest Neighbors untuk mendapatkan prediksi kelas suhu yang paling dekat dengan data training. Untuk menghitung jarak antara data uji dengan data training menggunakan rumus *Euclidean* berikut:

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (10)$$

Dengan

$d(x, y)$ = jarak

x_i = data training

y_i = data testing

i = record (baris) ke- i

n = dimensi data

Selanjutnya nilai K yang bernilai ganjil perlu ditentukan untuk mencari kelas pada data training yang memiliki nilai jarak paling dekat dengan data uji. Nilai K yang paling baik dilihat dari nilai akurasi yang paling tinggi antara hasil prediksi risiko (*predicted risk*) dengan kondisi risiko sebenarnya. Penyesuaian risiko (*adjusted risk*) dilakukan terhadap prediksi risiko sebagai konfirmasi akurasi model algoritma yang dihasilkan oleh sistem AI-Vision. Pada prakteknya, PT. DCI memiliki standar penyesuaian dimana, jika selisih suhu atas dan suhu bawah kurang dari 20 °C, maka kelas risiko turun 1 (satu) nilai. Berikut algoritma yang digunakan:

```

if ($suhu_atas - $suhu_bawah >= 20){
    $predicted_risk = $kelas_risiko;
}else{
    $predicted_risk = $kelas_risiko - 1;
}
  
```

(11)

Sedangkan untuk menghitung nilai akurasi dari prediksi risiko yang dihasilkan, menggunakan rumus berikut:

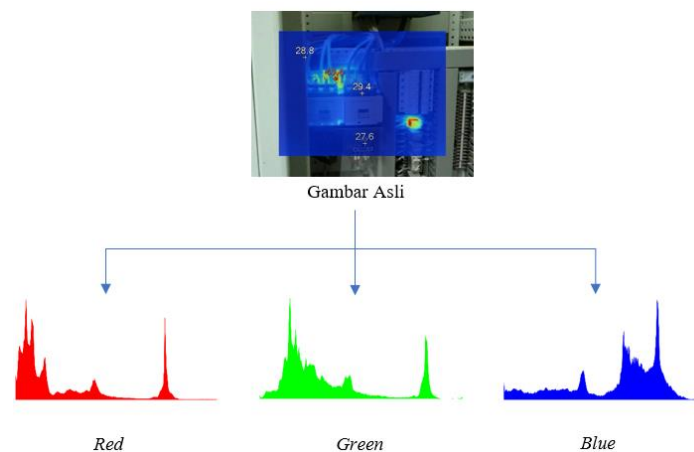
$$akurasi = \frac{\sum \text{prediksi benar}}{\text{total prediksi (n)}} \times 100\% \quad (12)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penulis merangkum hasil dari penelitian yang dilakukan terhadap gambar thermal sehingga menghasilkan keluaran berupa prediksi risiko.

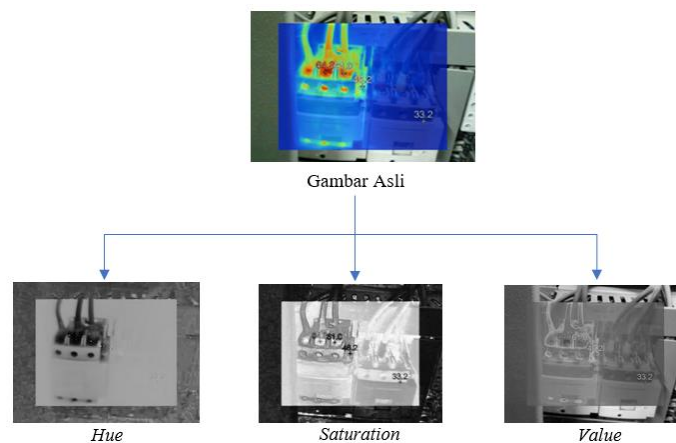
3.1. Pengolahan Citra (*Image Processing*)

Tahap pertama penelitian ialah dengan melakukan proses pengolahan citra terhadap gambar thermal hasil pindai alat thermal imagers fluke. Tahapan ini meliputi ekstraksi nilai RGB pada gambar untuk mendapatkan sebaran suhu pada komponen listrik chiller. Visualisasi proses ekstraksi RGB ialah sebagai berikut:



Gambar 1. Ekstraksi nilai RGB terhadap gambar *thermal*

Pengolahan citra ini juga mengkonversi gambar kedalam bentuk HSV untuk mendapatkan nilai *hot point* yang tampak pada komponen.



Gambar 2. Konversi HSV terhadap gambar *thermal*

Hasil akhir dari pengolahan citra berupa nilai suhu atas dan suhu bawah sebagai data input pada proses selanjutnya.

3.2. Prediksi Risiko (*Predicted Risk*)

Sebagai data uji, penulis menggunakan gambar *thermal* yang didapatkan dari proses pemeriksaan peralatan listrik menggunakan thermal imagers fluke terhadap panel *control motor chiller* CHWP dan CWP. Pemeriksaan dilakukan sebanyak 10 siklus dengan frekuensi 1 kali pemeriksaan per bulan, dengan total 20 data uji. Berikut ini data uji yang digunakan:

Tabel 2. Data Uji

Kode	Item	Siklus	Suhu Bawah (°C)	Suhu Atas (°C)
IR_01872.IS2/75	CHWP	1	29,6	54,3
IR_01863.IS2/81	CWP	1	30,1	52,6
IR_04113.IS2/63	CHWP	2	29,7	34,7
IR_04115.IS2/64	CWP	2	29,1	38,1
IR_06524.IS2/50	CHWP	3	27,6	43,4
IR_06529.IS2/54	CWP	3	27,7	57,6
IR_08625.IS2/46	CHWP	4	27,9	46,9
IR_08622.IS2/49	CWP	4	28,8	53,2
IR_09275.IS2/36	CHWP	5	33,2	64,8
IR_09269.IS2/42	CWP	5	31,8	45,5
IR_00753.IS2/29	CHWP	6	31,8	60,1
IR_00748.IS2/33	CWP	6	32,0	52,9
H2_02884.IS2/20	CHWP	7	26,1	30,8
H2_02887.IS2/22	CWP	7	27,9	46,3
H2_04962.IS2/12	CHWP	8	26,5	45,3
H2_04960.IS2/15	CWP	8	26,3	52,1
H2_07477.IS2/7	CHWP	9	26,6	31,0
H2_07481.IS2/10	CWP	9	27,1	30,5
H2_09537.IS2/1	CHWP	10	26,7	43,2
H2_09539.IS2/2	CWP	10	27,5	54,6

Perhitungan data uji terhadap data training dilakukan menggunakan rumus Euclidean dengan jumlah fitur sebanyak dua buah (suhu bawah dan suhu atas), dan klasifikasi sebanyak tiga buah (*maintenance, investigate, replace*). Hasil perhitungan didapatkan seperti pada tabel berikut:

Tabel 3. Hasil Prediksi Risiko (*Predicted Risk*)

Kode	Jenis	Siklus	Suhu Bawah (°C)	Suhu Atas (°C)	Prediksi Risiko	Aksi
IR_01872.IS2/75	CHWP	1	29,6	54,3	6	<i>Investigate</i>
IR_01863.IS2/81	CWP	1	30,1	52,6	5	<i>Investigate</i>
IR_04113.IS2/63	CHWP	2	29,7	34,7	4	<i>Maintenance</i>
IR_04115.IS2/64	CWP	2	29,1	38,1	4	<i>Maintenance</i>
IR_06524.IS2/50	CHWP	3	27,6	43,4	4	<i>Maintenance</i>
IR_06529.IS2/54	CWP	3	27,7	57,6	6	<i>Investigate</i>

IR_08625.IS2/46	CHWP	4	27,9	46,9	5	<i>Investigate</i>
IR_08622.IS2/49	CWP	4	28,8	53,2	5	<i>Investigate</i>
IR_09275.IS2/36	CHWP	5	33,2	64,8	7	<i>Investigate</i>
IR_09269.IS2/42	CWP	5	31,8	45,5	5	<i>Investigate</i>
IR_00753.IS2/29	CHWP	6	31,8	60,1	5	<i>Investigate</i>
IR_00748.IS2/33	CWP	6	32,0	52,9	6	<i>Investigate</i>
H2_02884.IS2/20	CHWP	7	26,1	30,8	3	<i>Maintenance</i>
H2_02887.IS2/22	CWP	7	27,9	46,3	4	<i>Maintenance</i>
H2_04962.IS2/12	CHWP	8	26,5	45,3	5	<i>Investigate</i>
H2_04960.IS2/15	CWP	8	26,3	52,1	5	<i>Investigate</i>
H2_07477.IS2/7	CHWP	9	26,6	31,0	4	<i>Maintenance</i>
H2_07481.IS2/10	CWP	9	27,1	30,5	4	<i>Maintenance</i>
H2_09537.IS2/1	CHWP	10	26,7	43,2	4	<i>Maintenance</i>
H2_09539.IS2/2	CWP	10	27,5	54,6	5	<i>Investigate</i>

3.3. Akurasi

Sebagai tahapan akhir dari penelitian menggunakan *machine learning*, penulis memeriksa performa model algoritma K-Nearest Neighbors terhadap data yang diujikan dalam sistem. Performa algoritma dihitung berdasarkan kesesuaian antara hasil prediksi terhadap kondisi sebenarnya. Pemeriksaan performa dihitung menggunakan rumus akurasi.

Tabel 4. Hasil Penyesuaian Risiko (*Adjusted Risk*)

Kode	Jenis	Prediksi Risiko	Aksi	Penyesuaian Risiko	Aksi Sebenarnya
IR_01872.IS2/75	CHWP	6	<i>Investigate</i>	6	<i>Investigate</i>
IR_01863.IS2/81	CWP	5	<i>Investigate</i>	5	<i>Investigate</i>
IR_04113.IS2/63	CHWP	4	<i>Maintenance</i>	4	<i>Maintenance</i>
IR_04115.IS2/64	CWP	4	<i>Maintenance</i>	4	<i>Maintenance</i>
IR_06524.IS2/50	CHWP	4	<i>Maintenance</i>	4	<i>Maintenance</i>
IR_06529.IS2/54	CWP	6	<i>Investigate</i>	6	<i>Investigate</i>
IR_08625.IS2/46	CHWP	5	<i>Investigate</i>	5	<i>Investigate</i>
IR_08622.IS2/49	CWP	5	<i>Investigate</i>	5	<i>Investigate</i>
IR_09275.IS2/36	CHWP	7	<i>Investigate</i>	5	<i>Maintenance</i>
IR_09269.IS2/42	CWP	5	<i>Investigate</i>	5	<i>Investigate</i>
IR_00753.IS2/29	CHWP	5	<i>Investigate</i>	5	<i>Investigate</i>
IR_00748.IS2/33	CWP	6	<i>Investigate</i>	5	<i>Maintenance</i>
H2_02884.IS2/20	CHWP	3	<i>Maintenance</i>	3	<i>Maintenance</i>
H2_02887.IS2/22	CWP	4	<i>Maintenance</i>	4	<i>Maintenance</i>
H2_04962.IS2/12	CHWP	5	<i>Investigate</i>	5	<i>Investigate</i>
H2_04960.IS2/15	CWP	5	<i>Investigate</i>	5	<i>Investigate</i>
H2_07477.IS2/7	CHWP	4	<i>Maintenance</i>	4	<i>Maintenance</i>
H2_07481.IS2/10	CWP	4	<i>Maintenance</i>	4	<i>Maintenance</i>

H2_09537.IS2/1	CHWP	4	<i>Maintenance</i>	4	<i>Maintenance</i>
H2_09539.IS2/2	CWP	5	<i>Investigate</i>	5	<i>Investigate</i>

$$akurasi = \frac{\sum \text{prediksi benar}}{\text{total prediksi (n)}} \times 100\%$$

$$akurasi = \frac{18}{20} \times 100\%$$

$$akurasi = 90\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan prediksi risiko komponen listrik chiller di Datacenter H2-01 Karawang pada sistem AI-Vision menggunakan model algoritma K-Nearest Neighbors, didapatkan akurasi dengan nilai 90% yang berasal dari 20 data yang diujikan kedalam 10 data training (standar).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Sistem AI-Vision merupakan aplikasi berbasis website yang berfungsi untuk melakukan prediksi risiko terhadap kondisi peralatan listrik yang berada di panel-panel listrik di data center. Aplikasi ini dibangun menggunakan bahasa pemrograman PHP pada sisi frontend dan Python pada sisi backend. Untuk menggunakan sistem AI-Vision, perlu dilakukan *scanning* peralatan menggunakan Thermal Imagers Fluke yang menghasilkan gambar *thermal* berisi keterangan gradasi warna yang mewakili kondisi suhu pada titik panas tertentu (*hot point*). Gambar *thermal* ini selanjutnya diproses dalam sistem AI-Vision menggunakan metode *machine learning* dan menghasilkan prediksi risiko peralatan listrik. Aplikasi juga dilengkapi dengan fitur notifikasi yang terhubung dengan aplikasi telegram dan email untuk mengirimkan notifikasi hasil prediksi. Hasil analisis menggunakan metode *machine learning* pada sistem AI-Vision menghasilkan prediksi risiko yang terbagi kedalam 10 kelas yang berbeda (0 °C sampai dengan 100 °C). Setiap kelas mewakili suhu dengan rentang 10 derajat. Masing-masing kelas risiko memiliki aksi pemeliharaan yang terdiri dari aksi *maintenance*, *investigate*, dan *replace*. Hasil prediksi risiko (*predicted risk*) yang dihasilkan oleh sistem AI-Vision kemudian dikonfirmasi oleh penulis dengan mempertimbangkan *manual book* atau spesifikasi peralatan masing-masing dan menghasilkan penyesuaian risiko (*adjusted risk*). Tingkat akurasi model algoritma K-Nearest Neighbors menunjukkan hasil akurasi sebesar 90%.

Object atau *image* peralatan yang diambil terbatas pada peralatan listrik yang ada di gedung H2 Datacenter, Karawang. Jika dimungkinkan *case* atau model dapat diinventarisir lebih banyak, maka pembelajaran AI-Vision ini akan semakin baik dan lebih cerdas cakupan dan ketepatan pembacaan dan penentuan prediksi risikonya. Aplikasi ini belum dapat meng-*captured trend* dari peralatan yang diukur suhunya oleh thermal imagers, sehingga akan lebih baik jika aplikasi ini dapat dikembangkan dan ditingkatkan sehingga dapat memberikan *executive summary* terkait *trend* suhu dari waktu ke waktu untuk masing-masing peralatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. DCI Indonesia yang telah memberi izin dan dukungan yang membantu pelaksanaan penelitian ini, terkhusus kepada:

1. Bapak Ricky Garyati
2. Bapak Ristono
3. Bapak Kevin Paredandan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Al-Qawasmeh, S. M., Ahmad, N. N., & Othman, M. F. (2014). *The impact of temperature on computer performance: A critical review*. International Journal of Computer Science and Security, 8(2), 20-30.
- [2] Anwar, Baharuddin., & Agus Supardi. (2019). *Penentuan Hot Point dengan Menggunakan Metode Thermovisi pada Gardu Induk 150 kV Purwodadi*. Skripsi thesis pada Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [3] Barnawi, Ahmed., Prateek C., Rajkumar T., Neeraj K., & Bander A. (2021). *Artificial Intelligence-Enabled Internet Of Things-Based System For COVID-19 Screening Using Aerial Thermal Imaging*. Jurnal pada Elsevier Public Health Emergency Collection. doi: 10.1016/j.future.2021.05.019.
- [4] Emmaett J. Vaughan., & Curtis M. Elliott. (1978). *Fundamental of Risk and Insurance*. New York: John Willey & Sons Inc.
- [5] Goenawan, A. D., M, Bakhara, A. R., & Mutiara, P. P. (2022). *Identifikasi Warna Pada Objek Citra Digital Secara Real Time Menggunakan Pengolahan Model Warna HSV*. Seminar Nasional Mahasiswa Ilmu Komputer dan Aplikasinya (SENAMIKA). E-ISSN: 2962-6129.
- [6] Hanafi. (2006). *Manajemen Risiko Operasional*. Jakarta: PT Elex Computindo.
- [7] Kafil, Mohammad. (2019). *Penerapan Metode K-Nearest Neighbors untuk Prediksi Penjualan Berbasis Web pada Boutiq Dealove Bondowoso*. Jurnal JATI Vol. 3 No. 2, September 2019. Intitut Teknologi Nasional Malang.
- [8] MarketsandMarkets. (2020). *Data center solutions market by solution type (servers, storage, networking, software), service type (consulting, installation and deployment, maintenance and support), tier type, end-user, vertical, and region - global forecast to 2025*. MarketsandMarkets. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/data-center-solutions-market228801466.html> diakses 16 Februari 2023.
- [9] Muhyiddin. (2020). *Pengertian dan Konsep Risiko*. Dokumen pada Learning Management System Universitas Esa Unggul.
- [10] Pasaribu, F.I.Z., & Fazawi, M. L. (2021). *Penentuan Hot Point dan Monitoring Peralatan Menggunakan Thermal Imagers Fluke dengan Metode Thermovisi*. JESCE (Journal of Electrical and System Control Engineering). 4 (2) Februari 2021: 113-128.
- [11] PLN. (2014). *Buku Pedoman Pemeliharaan*. No.0520-2.K/DIR.PT PLN (PERSERO).
- [12] Srivastava, A., Tiwari, V., & Saha, S. (2013). *Impact of temperature on the performance of electronic devices*. Journal of Engineering, 2013, Article ID 318794, 10 pages. <https://doi.org/10.1155/2013/318794>.
- [13] Yulianti, D. E., & Nanda, H. B. (2008). *Best Practice Perancangan Fasilitas Data Center*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.