

# Sistem Inspeksi Panas Kabel Menggunakan Kamera Termal dan Neural Network untuk Pencegahan Potensi Kebakaran

Martin Pardamean Batubara, Muhammad Rivai, dan Totok Mujiono  
Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail:* muhammad\_rivai@ee.its.ac.id

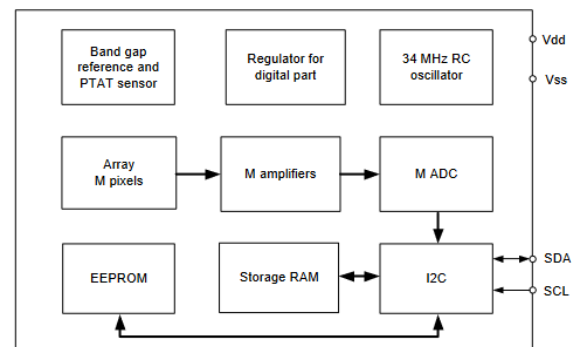
**Abstrak**—Listrik adalah sumber daya yang diperlukan dan sering ditemukan pada penggunaan barang elektronik. Penggunaan listrik di Indonesia pun tergolong meningkat dan menyebabkan adanya kejadian kebakaran. Perlu adanya pencegahan potensi kebakaran akibat adanya masalah kelistrikan baik pada komponen kelistrikan terutama ke kabel yang menghubungkan komponen. Pada penelitian ini telah dikembangkan sebuah sistem pendeteksian panas kabel dengan menggunakan kamera termal. Sistem ini menggunakan Raspberry Pi 4 sebagai unit prosesor dan kamera termal MLX90640 sebagai sensor. Data nilai suhu yang telah didapatkan oleh kamera termal berukuran 32x24 digunakan sebagai dataset bagi *Convolutional Neural Network*. *Neural Network* akan membedakan klasifikasi pembacaan tiap data yang diamati menjadi tiga yaitu suhu kabel yang aman, panas kabel yang berbahaya, dan pembacaan yang tidak sesuai sebagai gangguan. Model pelatihan pada data memiliki nilai akurasi yaitu sebesar 97%. Sistem ini dilengkapi Internet of Things untuk memutus secara otomatis apabila mendeteksi panas yang berbahaya lewat protokol MQTT pada modul ESP8266.

**Kata Kunci**—*Convolutional Neural Network*, Kamera Termal, Panas Kabel.

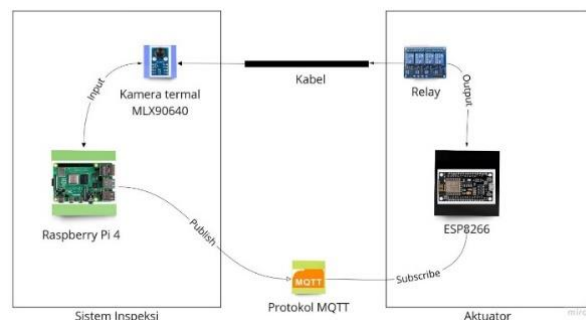
## I. PENDAHULUAN

**L**ISTRIK adalah salah satu sumber daya yang diperlukan manusia dalam kehidupan sehari-hari terutama warga Indonesia. Pemanfaatan listrik sering ditemukan dimana-mana terutama pada penggunaan barang elektronik seperti televisi, kulkas, dan barang elektronik lainnya. Penggunaan listrik di Indonesia pun tergolong meningkat, karena pada tahun 2015 penggunaannya baru 910 kWh/kapita sedangkan di 2019 meningkat menjadi 1084 kWh/kapita [1].

Penggunaan listrik yang semakin meningkat ini juga menyebabkan adanya kejadian kebakaran akibat masalah pada kelistrikan seperti korsleting listrik dan lain-lain. Kebakaran merupakan bahaya yang mempunyai dampak yang sangat besar meliputi kehidupan sosial dan ekonomi masyarakat yang mengalaminya [2]. Kejadian kebakaran ini pun menyebabkan kerugian yang cukup besar. Pada tahun 2018, Jakarta adalah daerah dengan jumlah penduduk terbanyak di Indonesia yang memiliki kepadatan penduduk 15.804 orang per kilometer persegi. Terdapat 410 kejadian kebakaran di DKI Jakarta sepanjang tahun 2019 dengan 74 persen didominasi oleh kebakaran karena masalah pada kelistrikan. Jumlah korban yang disebabkan oleh kebakaran tersebut adalah sekitar 13.211 jiwa dan kerugian materi sebesar Rp61.572.500.000. Kerugian dan jumlah korban yang disebabkan oleh kebakaran tersebut adalah jumlah yang cukup besar, sehingga perlu adanya pencegahan potensi kebakaran akibat masalah pada kelistrikan.



Gambar 1. Diagram blok kamera termal MLX90640.



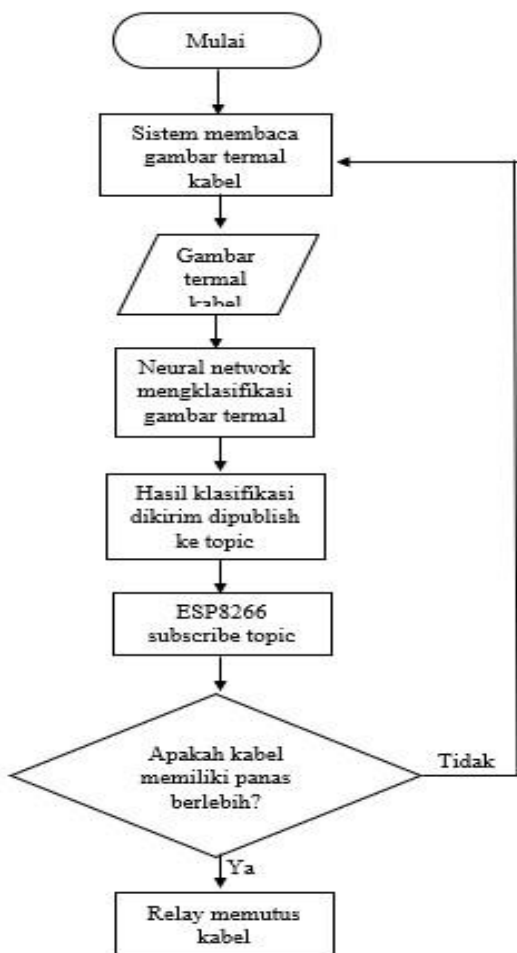
Gambar 2. Perancangan sistem inspeksi panas kabel.

Oleh sebab itu, perlu dilakukan upaya preventif untuk mencegah adanya kebakaran akibat adanya masalah kelistrikan baik pada kabel, maupun pada komponen kelistrikannya yang lain. Tindakan preventif tersebut bisa dispesifikkan ke kabel yang menghubungkan komponen. Korsleting listrik juga bisa menyebabkan kabel memiliki panas yang berlebihan. Sehingga untuk mencegah kabel memiliki panas yang berlebihan bisa dilakukan dengan merancang sebuah sistem yang bisa mendeteksi panas kabel yang berlebihan untuk mencegah terjadinya kebakaran. Sistem pendeteksian panas kabel dirancang menggunakan termal kamera yang akan diproses oleh unit prosesor. Gambar yang telah diambil oleh termal kamera akan diproses melalui Neural Network untuk menentukan apakah gambar yang diambil tersebut memiliki potensi kebakaran. Jika terdapat potensi kebakaran dan kabel memiliki panas yang berlebihan, prosesor selanjutnya akan mengirimkan data lewat jaringan agar segera dapat diatasi.

## II. TEORI

### A. Proses Terjadinya Kebakaran

Pada kebakaran, oksigen merupakan bahan yang diperlukan dalam reaksi pembakaran yaitu reaksi oksidasi



Gambar 3. Diagram alir cara kerja sistem inspeksi.

[3]. Selain itu, kebakaran dapat terjadi karena ada pemicu yang menyebabkan timbulnya kebakaran antara lain *short circuit* pada listrik, adanya bahan bakar, dan bahan-bahan lain yang mudah memicu timbulnya api. Segitiga kebakaran yaitu penjelasan mengenai kebakaran bisa terjadi karena adanya oksigen, bahan yang mudah terbakar, dan sumber panas.

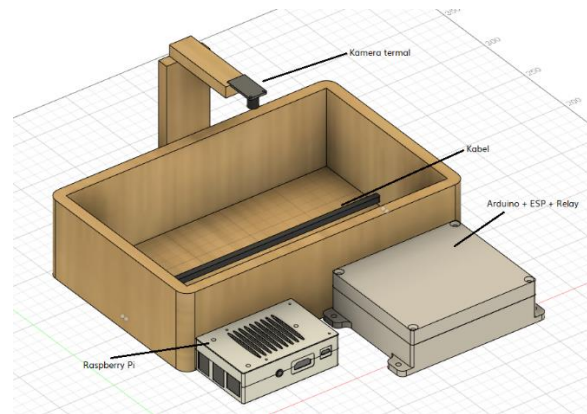
**B. Kabel Listrik**

Kabel listrik adalah sebuah media sebagai penghantar arus listrik dan informasi. Bahan dari kabel listrik ini bisa beraneka ragam dimana pada penghantar arus listrik biasanya terbuat dari tembaga dan umumnya dilapisi dengan pelindung. Selain tembaga, terdapat juga kabel yang terbuat dari serat optik. Tetapi, penghantar yang biasa digunakan untuk instalasi listrik biasanya terbuat dari tembaga.

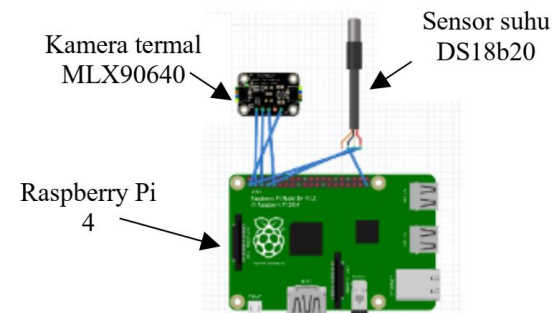
Selain itu, kabel juga bisa ditinjau dari jumlah penghantar yang ada dalam satu kabel. Kabel itu antara lain adalah kabel NYA. Kabel NYA adalah kabel yang berinti tunggal dengan isolasi dari bahan PVC dan digunakan untuk instalasi di luar atau kabel udara [4]. Lapisan isolasinya hanya satu lapis yang menyebabkan kabel tersebut mudah rusak, tidak tahan air, dan mudah digigit tikus.

**C. Panas Pada Kabel**

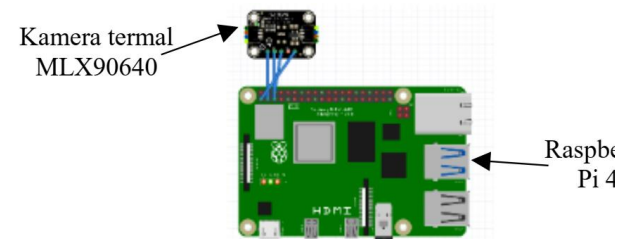
Pada penyaluran daya, arus yang mengalir pada kabel akan menghasilkan panas pada bagian konduktor kabel dimana panas tersebut diradiasikan ke luar atau lingkungan sekitarnya. Besarnya panas pada kabel tersebut bisa ditunjukkan ke dalam persamaan:



Gambar 4. Desain 3D dari keseluruhan alat.



Gambar 5. Skematis rangkaian pembandingan suhu.



Gambar 6. Skematis rangkaian pengambilan gambar.

$$Q = I^2Rt \tag{1}$$

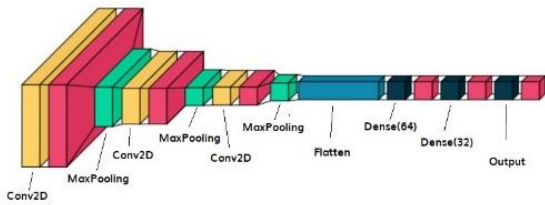
dimana Q adalah panas yang diradiasikan (Joule), I adalah arus yang mengalir dalam satuan Ampere, dan R adalah tahanan pada konduktor dalam satuan Ohm. Besarnya radiasi panas oleh karena adanya aliran arus pada konduktor menurut Fourier ditunjukkan melalui persamaan sebagai berikut:

$$Q = -kAVT \tag{2}$$

dimana Q adalah panas yang diradiasikan, k adalah konduktivitas panas, dan A adalah area radiasi panas dan  $\nabla T$  adalah gradien suhu dalam luas padatan tersebut. Konduktivitas panas pada bahan konduktor bergantung pada koefisien panas konduktor. Arus erat kaitannya dengan panas kabel. Selain itu, apabila pada arus yang mengalir melalui kabel, suhu akan memiliki efek besar pada kemampuan isolasi kabel [5].

**D. Kamera Termal**

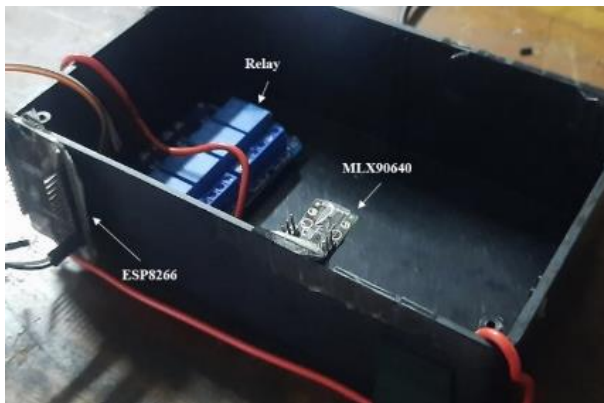
Kamera visual mengambil gambar dengan mendeteksi cahaya yang terlihat direfleksikan dari permukaan obyek dan bergantung dari iluminasi adegan, arah, keseimbangan warna, dan lain-lain [6]. Sedangkan kamera termal menangkap gambar dengan membaca radiasi yang diberikan oleh obyek yang memiliki radiasi termal. Radiasi yang



Gambar 7. Arsitektur convolutional neural network.



Gambar 8. Realisasi bentuk fisik sistem inspeksi kabel tampak atas.



Gambar 9. Realisasi bentuk fisik sistem inspeksi kabel tampak samping.

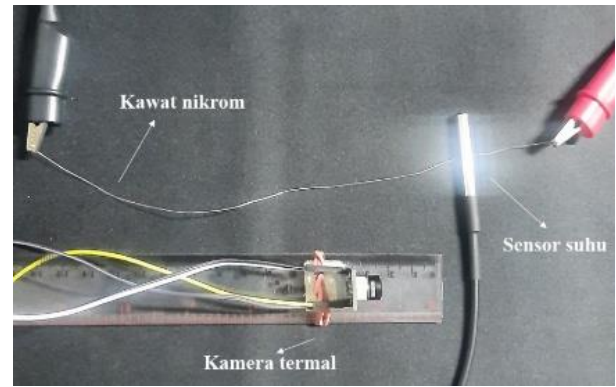
disebabkan oleh sebuah obyek ini bisa diberikan dengan fungsi distribusi gelombang Planck. Kamera termal bisa digunakan pada kondisi yang kurang cahaya serta mendeteksi suhu dari obyek dari radiasi yang dipancarkan.

Salah satu modul kamera termal adalah MLX90640 dari AdaFruit dimana modul ini bisa mengambil gambar dengan membaca suhu dari obyek dan menampilkannya pada gambar. Hasil keluaran gambar yang dihasilkan adalah berukuran 32x24 dimana hasilnya lebih terlihat jelas dibandingkan dengan modul kamera termal lain. Gambar 1 menunjukkan diagram blok dari MLX90640.

**E. Raspberry Pi**

Raspberry Pi bisa dikatakan sebagai *single board computer* yang berarti adalah sebuah komputer yang dibangun di sebuah PCB. Karena Raspberry Pi ini adalah sebuah *mini PC*, maka komponen yang ada pada komputer pun ada didalamnya seperti GPIO, RAM, dan juga prosesor. Raspberry Pi keluaran terbaru adalah Raspberry Pi 4, dan Raspberry Pi 400.

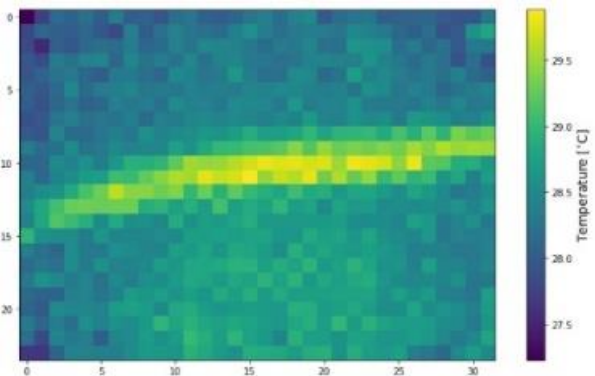
Pada Raspberry Pi terdapat sebuah system-on-chip yang terdiri dari CPU (Central Processing Unit dan GPU (Graphical Processing Unit). Selain itu, ukuran RAM pada Raspberry Pi juga beragam seperti 2GB, 4GB, atau 8GB.



Gambar 10. Sensor suhu DS18B20 dan kamera termal MLX90640.



Gambar 11. Grafik suhu dimana sumbu x adalah nilai suhu dari sensor dan sumbu y dari kamera termal.

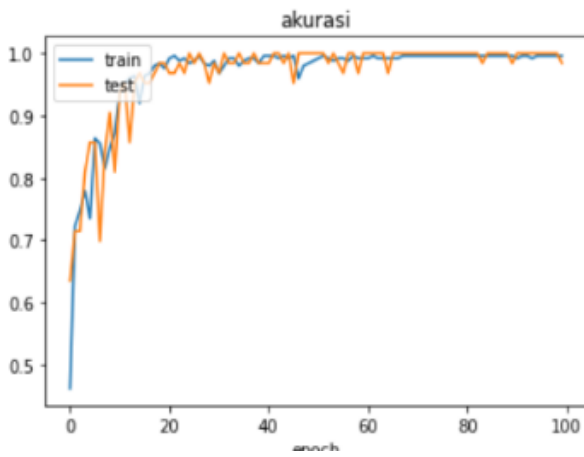


Gambar 12. Hasil visualisasi data termal.

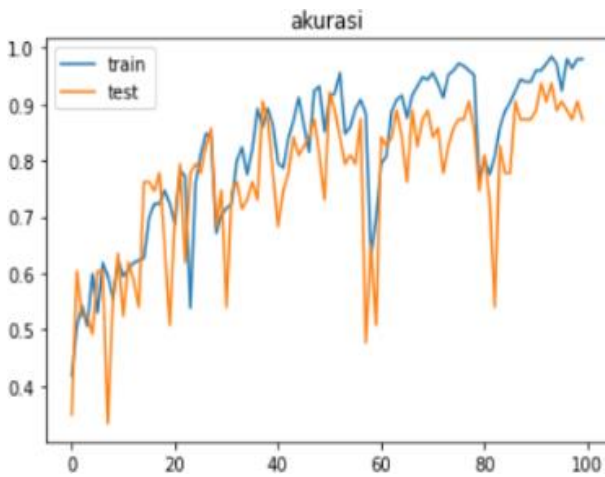
Raspberry Pi juga memiliki beberapa port GPIO yang bisa dihubungkan untuk menghubungkan Raspberry Pi dengan komponen lain. Selain itu, pada Raspberry Pi 4 memiliki konektivitas Wi-Fi, Bluetooth, dan Ethernet. GPIO yang dimiliki adalah sebanyak 40 yang pengoperasiannya menggunakan suplai daya 5V, dan 3A dengan koneksi USB type C.

**F. Bahasa Pemrograman Python**

Salah satu bahasa pemrograman yang banyak digunakan saat ini adalah bahasa pemrograman Python. Bahasa pemrograman ini ditemukan oleh Guido von Rossum pada tahun 1991. Saat ini, Python sudah mencapai versi 3.10.1, dan terus dikembangkan. Selanjutnya, untuk machine learning terdapat juga beberapa library yang bisa mendukung dalam pengerjaannya salah satunya adalah scikit-learn. Untuk penerapan deep learning juga dapat menggunakan library yang ada di Python yaitu Tensorflow.



Gambar 13. Akurasi pada saat sebelum interpolasi.



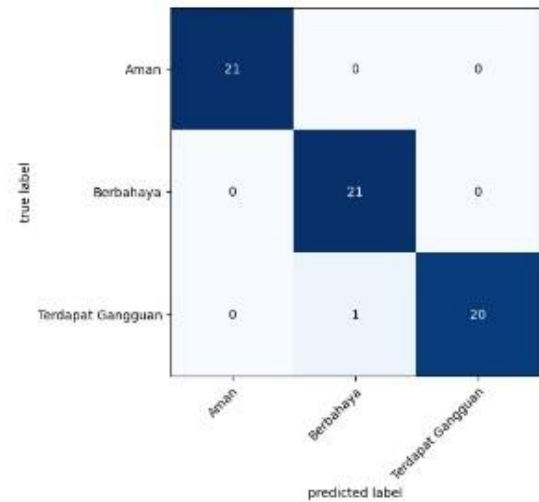
Gambar 14. Akurasi pada saat sesudah interpolasi.

G. Neural Network

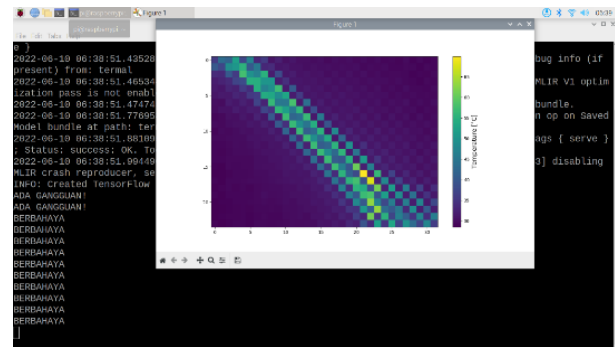
Neural Network atau NN adalah metode penting dalam kecerdasan buatan yang meniru kinerja otak manusia dan diterapkan di berbagai bidang [7]. Model Neural Network dapat mengadaptasi masukan yang berbeda-beda sehingga algoritmenya tidak perlu diubah dan bisa mengeluarkan hasil yang terbaik. Neuron ini mengambil angka yang sudah ditentukan dari nilai masukan dan direpresentasikan sebagai elemen dari vektor  $x$  dan menghasilkan nilai skalar  $y$ . Setiap posisi masukan dari neuron dikaitkan dengan parameter skalar yang disebut *weight*. *Weight* adalah parameter dari neuron tersebut yang disesuaikan setiap kali neuron melakukan pembelajaran [8]. Persamaan neuron didefinisikan sebagai berikut:

$$y = f(\sum_i x_i w_i + b) \tag{3}$$

dimana jumlah dari input  $x$  dan *weight* atau dikenal juga dengan fungsi aktivasi. Pada  $x_i$  adalah nilai numerik yang merupakan data masukan. Lalu, hasil dari penjumlahan *weight* digunakan sebagai fungsi aktivasi  $f$  dimana disebut dengan fungsi transfer. Jenis fungsi aktivasi ada banyak tetapi fungsi tersebut harus memenuhi ketentuan yang sama yaitu bersifat non-linier. Pemanfaatan teknologi *machine learning* berupa metode *Convolutional Neural Network* (CNN) adalah salah satu konsep *deep learning* yang bisa mengenali fitur dari citra atau gambar [9]. CNN biasa dilakukan untuk masalah seperti klasifikasi gambar, deteksi objek dan lain-lain.



Gambar 15. Confusion matrix hasil pengujian sistem.



Gambar 16. Pengetesan sistem secara langsung.

H. Interpolasi

Interpolasi adalah metode dalam menemukan nilai baru dari piksel yang terletak di antara beberapa piksel gambar asli yang sudah mengalami perubahan ukuran [5]. Gambar yang diperbesar menggunakan interpolasi lebih bergradien sehingga lebih terlihat jelas dibandingkan dengan gambar yang diperbesar tanpa interpolasi. Gambar yang diperbesar tanpa interpolasi terlihat memiliki warna yang tidak bergradien antar satu piksel dengan piksel yang lain.

I. Internet of Things (IoT)

Internet of Things atau IoT adalah sistem dimana benda di dunia fisik dapat dihubungkan ke internet [10]. IoT dapat didefinisikan sebagai kumpulan benda pintar atau obyek seperti perangkat atau perlengkapan rumah, perangkat genggam, laptop, dan lain-lain yang bisa terkoneksi dengan internet lewat *framework* yang sama dan *framework* ini bisa lewat *cloud computing* [11]. Salah satu protokol yang digunakan pada IoT adalah MQTT atau *Message Queuing Telemetry Transport*. Protokol komunikasi MQTT terdiri dari empat komponen utama yaitu broker (perangkat utama), client (IoT node), topic, dan message [12].

III. PERANCANGAN SISTEM

A. Perancangan Perangkat Keras

Berikut adalah gambaran keseluruhan sistem yang digunakan pada purwarupa rancangan alat ini. Adapun perangkat keras yang digunakan terdiri dari beberapa komponen yang diintegrasikan satu sama lain. Gambar 2 menunjukkan ilustrasi sistem keseluruhan. Adapun diagram

alir dari cara kerja sistem inspeksi dapat dilihat pada Gambar 3. Dari setiap komponen yang telah didefinisikan pada sistem keseluruhan digabungkan menjadi satu kesatuan. Komponen pertama adalah casing yaitu tempat dimana kabel akan diobservasi menggunakan kamera termal. Adapun rancangan desain dari alat dapat dilihat pada Gambar 4.

### B. Perbandingan Suhu Kabel dengan Sensor Suhu dan Kamera Termal

Pada tahap ini dilakukan perbandingan suhu kabel dengan menggunakan sensor suhu DS18B20 dengan kamera termal MLX90640. Adapun suhu yang dibandingkan adalah suhu yang didapatkan dari sensor suhu DS18B20 dengan suhu rata-rata dari suhu setiap piksel yang didapatkan melalui kamera termal. Perbandingan antara sensor suhu dan kamera termal menggunakan data yang didapatkan dari program logging antara kedua sensor. Program logging menggunakan kedua sensor sebagai masukan dan menyimpan nilai suhu setiap beberapa menit ke dalam dokumen .csv. Gambar rangkaian dapat dilihat pada Gambar 5.

### C. Pengambilan Gambar dengan Kamera Termal

Pengambilan gambar ini bertujuan untuk membuat dataset yang akan dilatih oleh model. Ukuran gambar yang akan didapatkan dari kamera termal akan berukuran 32x24. Gambar yang didapatkan adalah sebaran temperatur setiap piksel yang didapatkan oleh kamera termal. Dataset gambar ini terdiri dari tiga jenis. Pertama adalah kumpulan gambar dengan kamera termal yang memiliki panas kabel berpotensi terbakar, kumpulan gambar dengan panas kabel yang aman, dan kumpulan gambar kabel yang terdapat gangguan di sekitarnya. Rangkaian dapat dilihat pada Gambar 6.

### D. Pembuatan Dataset

Pada tahap ini dilakukan pembuatan dataset dari piksel yang telah dikumpulkan. Ukuran dataset sebanyak lebih dari 300 data ukuran 32x24 piksel yang terbagi sama rata untuk setiap label. Selain itu juga dilakukan interpolasi dari dataset sehingga ukurannya menjadi 320x240 piksel. Adapun dataset yang akan digunakan terbagi menjadi dua jenis yaitu sebelum dan sesudah interpolasi. Dataset ini kemudian dibagi lagi menjadi dataset *training* dan *testing* dimana memiliki pembagian 80% untuk *training* dan 20% untuk *testing*.

### E. Perancangan Neural Network

Gambar 7 menunjukkan arsitektur *Convolutional Neural Network*. Data masukan akan dikonvolusi dengan filter dimana tujuannya adalah mengekstraksi fitur dari setiap data yang kemudian akan dilanjutkan ke fungsi aktivasi di layer-nya. Setelah itu, data akan di pooling dengan max pooling dimana tujuannya adalah mengurangi ukuran data masukan sehingga bisa mempercepat komputasi. Max pooling akan mengambil nilai terbesar dari setiap data yang diberikan. Setelah data melewati proses tersebut, maka dilanjutkan dengan proses flatten dimana pada proses ini data dari matriks diubah menjadi satu kolom. Hal ini dilakukan sehingga kolom ini akan menjadi data masukan ke *Neural Network*. Data yang telah diflatten sebanyak 896 kemudian dilanjutkan ke *hidden layer* sebanyak 64 dan dilanjutkan ke *hidden layer 2* sebanyak 32 untuk mendapatkan fitur dari setiap data dan setiap label. Keluaran dari *Neural Network* berjumlah tiga yaitu aman, bahaya, dan terdapat gangguan.

Data yang dilatih dan dites adalah data sebelum diinterpolasi dan sesudah diinterpolasi untuk dibandingkan yang memiliki akurasi tertinggi.

### F. Perancangan Komunikasi IoT

Pada perancangan komunikasi IoT digunakan modul ESP8266 agar bisa mengambil data yang telah dikirimkan lewat Raspberry Pi. Sistem ini menggunakan protokol MQTT yang tersedia di Raspberry Pi yaitu Mosquitto Broker untuk menjadikan Raspberry Pi sebagai broker dari sistem. Database dengan nama kabel akan dibuat serta ditambahkan tabel yang berisikan hasil identifikasi dari Neural Network yang telah dilakukan. Setelah itu, MQTT client akan mengambil atau subscribe ke database tersebut. Apabila aman, kabel tidak diputus, dan apabila kabel berbahaya segera diputus. MQTT client disini adalah ESP8266.

## IV. HASIL DAN ANALISA DATA

### A. Realisasi Perangkat Keras

Adapun realisasi dari alat yang sudah dirancang dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9. Pada bentuk fisik alat terdapat beberapa komponen yang telah dipasang. Terdapat baterai lipo untuk memberikan suplai daya untuk relai. Daya yang digunakan oleh ESP8266 dan Raspberry Pi berasal dari suplai daya eksternal dimana Raspberry Pi membutuhkan suplai daya sebesar 15W yaitu 5 V dan 3 A. ESP8266 akan digunakan sebagai *receiver* data kabel yang telah dideteksi oleh Raspberry Pi yang diterima dengan protokol MQTT. Apabila ESP8266 menerima data bahwa kabel berbahaya, maka ESP8266 akan mengirimkan sinyal kepada relai untuk memutuskan kabel. Raspberry Pi bertindak sebagai unit yang mengolah data yang didapatkan kamera termal dan menentukan apakah kabel yang diobservasi memiliki panas berlebih. Setelah itu, hasil yang telah didapatkan dikirimkan melalui protokol MQTT.

### B. Pengetesan dan Perbandingan Suhu Kabel

Pada tahap berikutnya dilakukan perbandingan suhu dari kabel yang didapatkan sensor suhu DS18B20 dengan suhu yang didapatkan oleh kamera termal MLX90640. Sensor suhu akan ditempelkan ke kawat nikrom sebagai objek yang diobservasi dan kamera termal didekatkan ke objek dengan jarak yang berubah-ubah. Untuk komponen sensor yang mengukur suhu kabel untuk dibandingkan terdapat dua yaitu sensor suhu DS18B20 dan kamera termal MLX90640. Adapun pengujian dari metode kedua sensor dapat dilihat pada Gambar 10. Jarak diubah dari 3 cm sampai 30 cm. Kawat nikrom digunakan karena dapat memberikan radiasi panas di kabelnya sehingga bisa dijadikan objek observasi. Kawat nikrom kemudian dihubungkan dengan DC *power supply* untuk diberikan tegangan yang nantinya dinaikkan secara perlahan dengan jarak optimal 18 cm, dimana nilai koefisien determinasi atau  $R^2$  tinggi di maksimal jarak tersebut yaitu 0.96. Grafik perbandingan pada jarak 6 cm dapat dilihat pada Gambar 11.

### C. Pengambilan Data Suhu Kabel Dengan Kamera Termal

Pada tahap ini dilakukan akuisisi data dengan kamera termal. Kamera termal dihubungkan dengan Raspberry Pi 4 dengan protokol komunikasi I2C. Ukuran piksel yang didapatkan oleh kamera termal berukuran 32x24 piksel. Data

mentah yang dihasilkan disini adalah berupa data nilai suhu dalam Celsius setiap piksel gambar yang ditangkap oleh kamera termal. Data nilai suhu yang didapatkan dikirimkan ke Raspberry Pi dalam bentuk *array* dimana susunan nilai pikselnya bisa disesuaikan untuk divisualisasikan. Contoh visualisasinya dapat dilihat pada Gambar 12.

#### D. Logging Data Piksel dari Kamera Termal

Pada tahap ini dilakukan *logging* atau pencatatan nilai suhu dari setiap piksel dari kawat nikrom. Pada tahap ini digunakan beberapa objek untuk didapatkan nilai suhunya yaitu kabel NYA untuk kondisi aman, kawat nikrom panas untuk menyimulasikan panas kabel yang berbahaya, dan beberapa gangguan di sekitar kabel seperti rokok, resistor, dan lampu untuk menyimulasikan adanya gangguan. Adapun gangguan ini digunakan karena dapat menandakan adanya suhu yang panas di sekitar objek yaitu kabel. Pencatatan nilai suhu ini dilakukan beberapa kali untuk beberapa kondisi. Selain itu, hasil pencatatan nilai suhu setiap piksel juga diberikan keterangan di depan *array* yang telah didapatkan. Keterangan ini adalah label untuk setiap kondisi nilai piksel tersebut yaitu berupa nilai nol, satu, dan dua. Dari hasil *logging* ini nantinya nilai setiap gambar bisa dikumpulkan untuk menjadi dataset.

#### E. Interpolasi Dataset

Untuk melakukan interpolasi, nilai dari data pada gambar harus sudah diketahui yang mana adalah nilai suhu setiap pikselnya. Teknik interpolasi yang digunakan disini adalah interpolasi bikubik. Pada metode ini menggunakan piksel-piksel terdekat pada citra aslinya. Dengan menggunakan metode ini dapat membuat tepi dari citra yang dihasilkan menjadi lebih bagus karena terdapat gradien yang diciptakan.

Pada metode dan tahap ini dilakukan interpolasi hingga 10 kali sehingga hasil pikselnya menjadi 320x240 piksel. Setiap data dilakukan interpolasi dan disimpan ke file .csv baru sehingga ukuran barisnya tetap sama dengan dataset sebelumnya tetapi jumlah kolomnya menjadi 76800 kolom karena dilakukan interpolasi 10 kali menjadi 320x240.

#### F. Pelatihan Data Menggunakan CNN

Pada tahap ini dilakukan pelatihan data sebelum dan sesudah interpolasi menggunakan CNN dengan memanfaatkan proses konvolusi dengan menggerakkan filter berukuran tertentu ke sebuah data dan kemudian mendapatkan informasi representatif yang baru dari hasil perkalian filter tersebut dengan data yang diberikan. Hasil representasi fitur kemudian dijadikan sebuah kemampuan untuk mengenali sebuah objek. Pada tahap ini dilakukan pelatihan dengan data sebelum interpolasi dan sesudah diinterpolasi. Pada kedua dataset, pelatihan dilakukan dengan *epoch* sebanyak 100 kali. Pembuatan grafik untuk pelatihan data pada proses sebelum dan sesudah interpolasi dimana menampilkan perubahan nilai akurasi dan loss pada setiap *epoch*. Dari grafik ini kemudian dibandingkan untuk menentukan dataset yang lebih baik untuk dijadikan sebagai masukan dalam sistem *real-time*. Adapun grafik akurasi pada data sebelum interpolasi terdapat pada Gambar 13 dan grafik akurasi pada data setelah interpolasi terdapat pada Gambar 14. Dari hasil grafik dapat dilihat model sudah cukup baik dalam melatih data sebelum interpolasi. Akurasi mendekati nilai 97% pada setiap *epoch*. Pada data sesudah interpolasi,

nilai akurasi memiliki penurunan secara-tiba pada epoch tertentu. Untuk nilai akhir akurasinya adalah sebesar 83%. Dari nilai akurasi, dapat disimpulkan bahwa data sebelum interpolasi lebih baik dijadikan sebagai dataset utama dan karena pelatihan untuk dataset sebelum interpolasi memiliki waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan data sesudah interpolasi.

Kemudian, model diuji dengan melakukan confusion matrix yaitu sebuah tabel untuk menampilkan visualisasi hasil yang telah diprediksi menggunakan model yang telah dilatih. Adapun visualisasi dengan confusion matrix dengan menggunakan data tes sebelum interpolasi dapat dilihat pada Gambar 15. Model sebelum interpolasi berhasil memprediksi data tes dengan kategori aman dan berbahaya dengan tepat, sedangkan pada data tes kategori gangguan, satu data yang diprediksi sebagai berbahaya. Sedangkan, model sesudah interpolasi, kategori aman berhasil diprediksi dengan benar sedangkan pada data kategori berbahaya, empat data diprediksi sebagai gangguan dan satu data diprediksi sebagai aman. Selain itu, pada data kategori gangguan terdapat 17 diprediksi dengan benar dengan satu data diprediksi sebagai aman, dan 3 sebagai berbahaya.

#### G. Pengetesan Sistem Secara Langsung

Model yang telah dilatih kemudian dilakukan konversi. Salah satu fitur dari *library tensorflow* adalah bisa membuat model yang kemudian tidak perlu dilatih ulang untuk digunakan kembali dalam *inference* atau prediksi secara langsung/*live*. Untuk melakukan hal tersebut, maka perlu dilakukan konversi terhadap model menjadi format TFLite. Pada program ditambahkan interpretasi terhadap model dengan memberikan label dari hasil nilai prediksi. Hasil nilai prediksi akan memberikan nilai tafsiran kepada setiap kelas yang lebih cocok. Pada komunikasi IoT, protokol yang digunakan antara ESP8266 dan Raspberry Pi 4 adalah protokol MQTT dimana Raspberry Pi adalah sebagai MQTT broker, dan ESP8266 sebagai MQTT Client. Gambar 16 menunjukkan sistem secara *live* atau langsung.

## V. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dikembangkan sebuah sistem pendeteksian panas kabel dengan menggunakan Raspberry Pi 4 sebagai unit prosesor dan kamera termal MLX90640 sebagai sensor. Data nilai suhu digunakan sebagai dataset bagi *Convolutional Neural Network* untuk mengklasifikasi tingkat keamanannya. Sistem ini bisa mengenali panas kabel yang aman dengan objek kabel NYA, panas kabel yang berbahaya, serta adanya gangguan di sekitar kabel dengan nilai akurasi sebesar 97%. Sistem ini dilengkapi *Internet of Things* untuk memutus kabel secara otomatis apabila mendeteksi panas yang berbahaya lewat protokol MQTT pada modul ESP8266.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, "Konsumsi Listrik per Kapita (MWH/Kapita)," Jakarta: Badan Pusat Statistika, 2020.
- [2] R. Hidayawanti, "Upaya tertib listrik terhadap instalatir kabel di daerah padat penduduk (studi kasus kecamatan Tambora)," *KILAT Jurnal Kajian Ilmu dan Teknologi*, vol. 7, no. 1, pp. 24–29, 2018.
- [3] P. Yuliana and S. Rahayu, "Pemetaan Lokasi Kebakaran Berdasarkan Prinsip Segitiga Api pada Industri Textile," *Seminar Nasional Inovasi dalam Desain dan Teknologi IDEaTech*, vol. 1, pp. 33–43, 2015. ISSN:

- 2089-1121.
- [4] M. W. Emidiana, "Karakteristik kabel yang ditekuk saat dialiri arus," *J. Ampere*, vol. 3, no. 1, pp. 156–162, 2018.
- [5] J. Li, Q. Li, Z. Shu, J. Zhang, and M. Fan, "The Effect of Self-producing Heat and External Radiation on the Insulating Property of Wire," *Int. Conf. Perform-Based Fire Fire Prot. Eng.*, vol. 135, pp. 151–159, 2016.
- [6] A Rashid, Y Peng, A Ahmad, A Haider, A Naeem, A Javed, and J Abdul, "Passive autofocusing system for a thermal camera," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 130014–130022, 2020. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3006356.
- [7] M. Rivai and Tasripan, "Rancang bangun wireless electronic nose berbasis teknologi internet of things," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, pp. 678–682, 2017.
- [8] I. Vasilev, D. SLater, P. Roelants, V. Zocca, dan G. Spacagna. *Python Deep Learning Second Edition*, 2<sup>nd</sup> ed. UK: Packt Publishing, 2019.
- [9] M. E. Al Rivan and A. G. Riyadi, "Perbandingan arsitektur lenet dan alexnet pada metode convolutional neural network untuk pengenalan american sign language," *J. Komput. Terap.*, vol. 7, no. 1, pp. 53–61, 2021
- [10] S. Siregar and M. Rivai, "Monitoring dan kontrol sistem penyemprotan air untuk budidaya aeroponik menggunakan node MCU ESP8266," *J. Tek. ITS*, vol. 7, no. 2, pp. 380–385, 2018.
- [11] Z. Hassan, H. Ali, and M. Badawy, "Internet of things (iot): definitions, challenges, and recent research directions," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 128, pp. 37–47, 2015.
- [12] M. Khan, S. U. Jan, and J. Ahmad, "A deep learning-based intrusion detection system for MQTT enabled iot," *Sensors*, vol. 21, pp. 1–25, 2021. doi: 10.3390/s21217016