



SIDANG SKRIPSI

**SISTEM *MONITORING* TERMAL *REAL-TIME*
PADA MESIN MENGGUNAKAN KAMERA
TERMAL MLX90640 DAN TERMOKOPEL TIPE-
K DENGAN MODUL MAX6675 BERBASIS
INTERNET OF THINGS (IOT)**

LU'LUUNNISA AULIA RACHMA

NIM : 1306620084

DOSEN PEMBIMBING I : DR. WIDYANINGRUM INDRASARI, M.SI

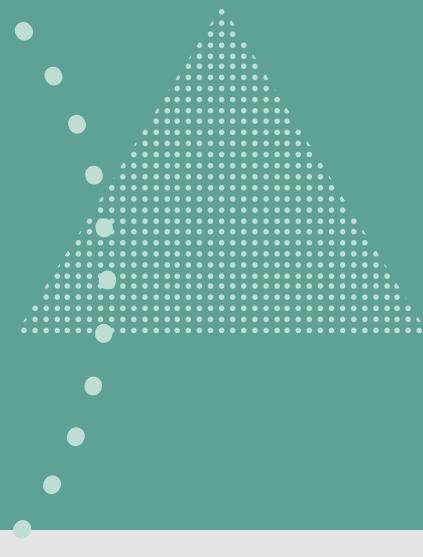
DOSEN PEMBIMBING II : IR. HERI FIRMANSYAH, M.T



BAB I

Pendahuluan

Latar Belakang
Rumusan Masalah
Tujuan Penelitian
Manfaat Penelitian



Latar Belakang

Komputer dan
Laptop

$$= 85^{\circ}\text{C}$$

(Acer,2023)

Mobil

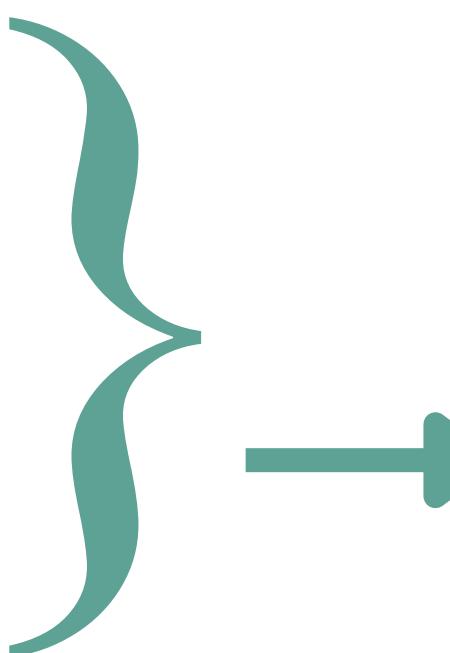
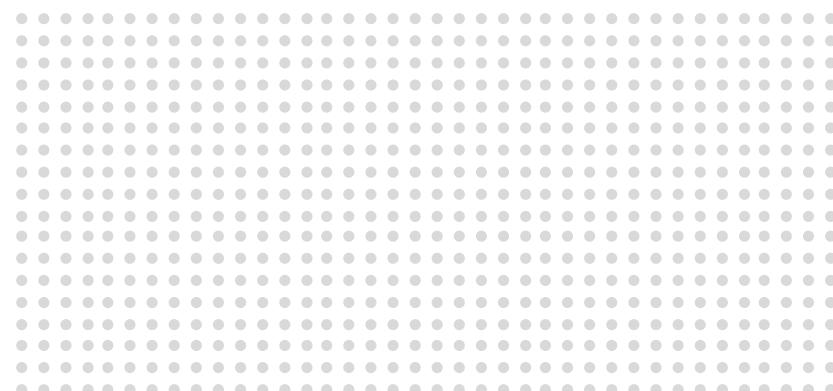
$$= 75 - 105^{\circ}\text{C}$$

(Suzuki,2021)

Motor

$$= 82 - 99^{\circ}\text{C}$$

(Auto2000, 2022; Hyundai, 2022)



Sumber : <https://otomotif.kompas.com>

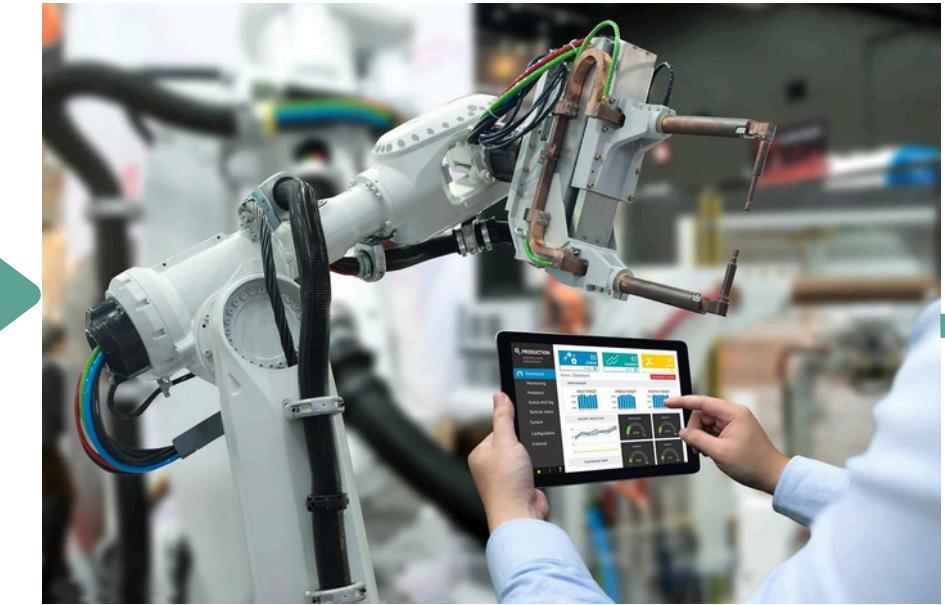
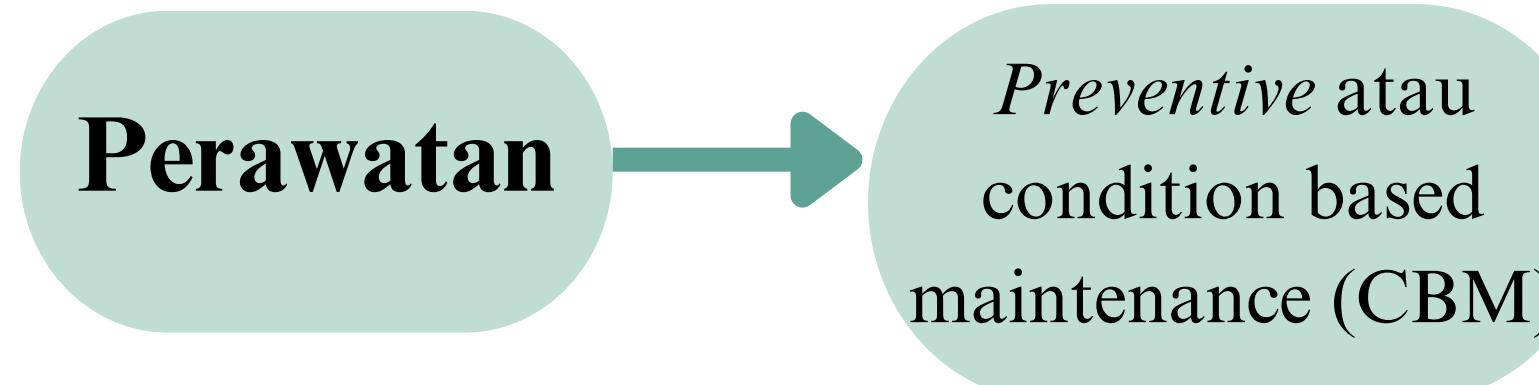


**Kerusakan
Mesin**

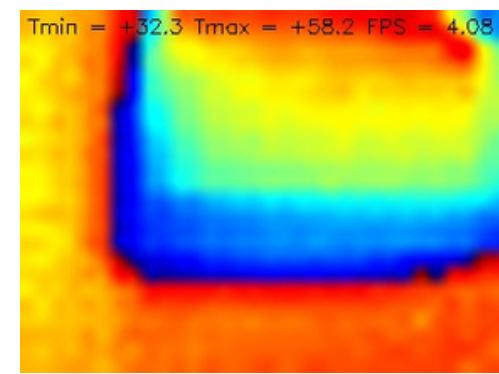


Perawatan

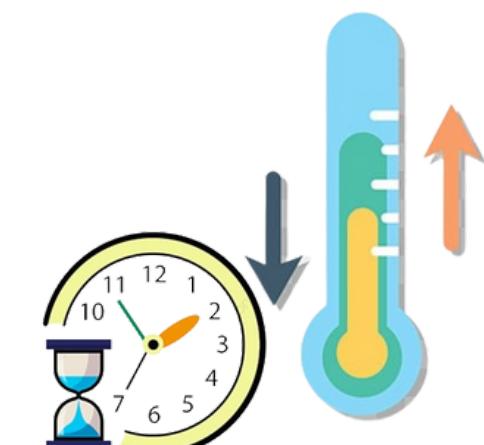
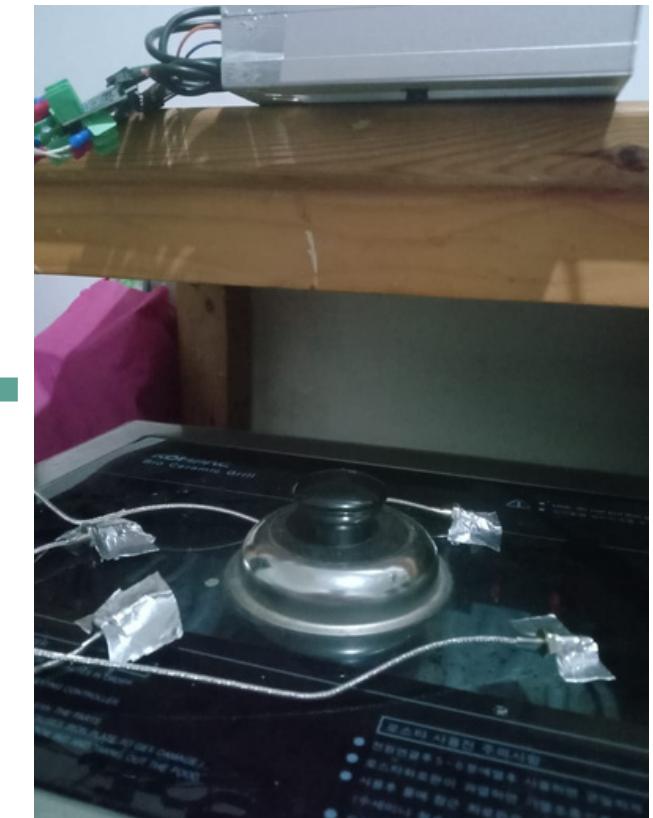
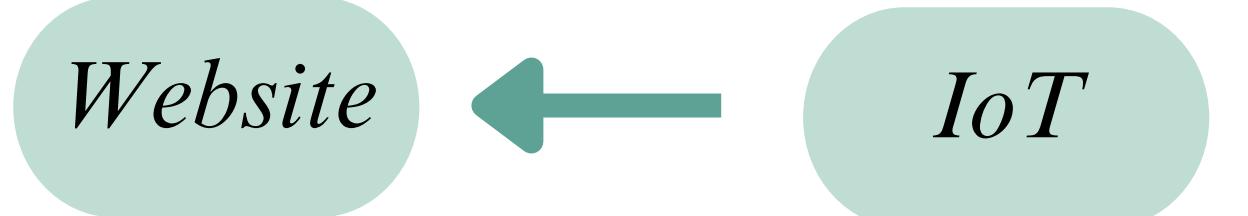
Latar Belakang



Sumber : <https://evomosolution.medium.com/>
Monitoring mesin

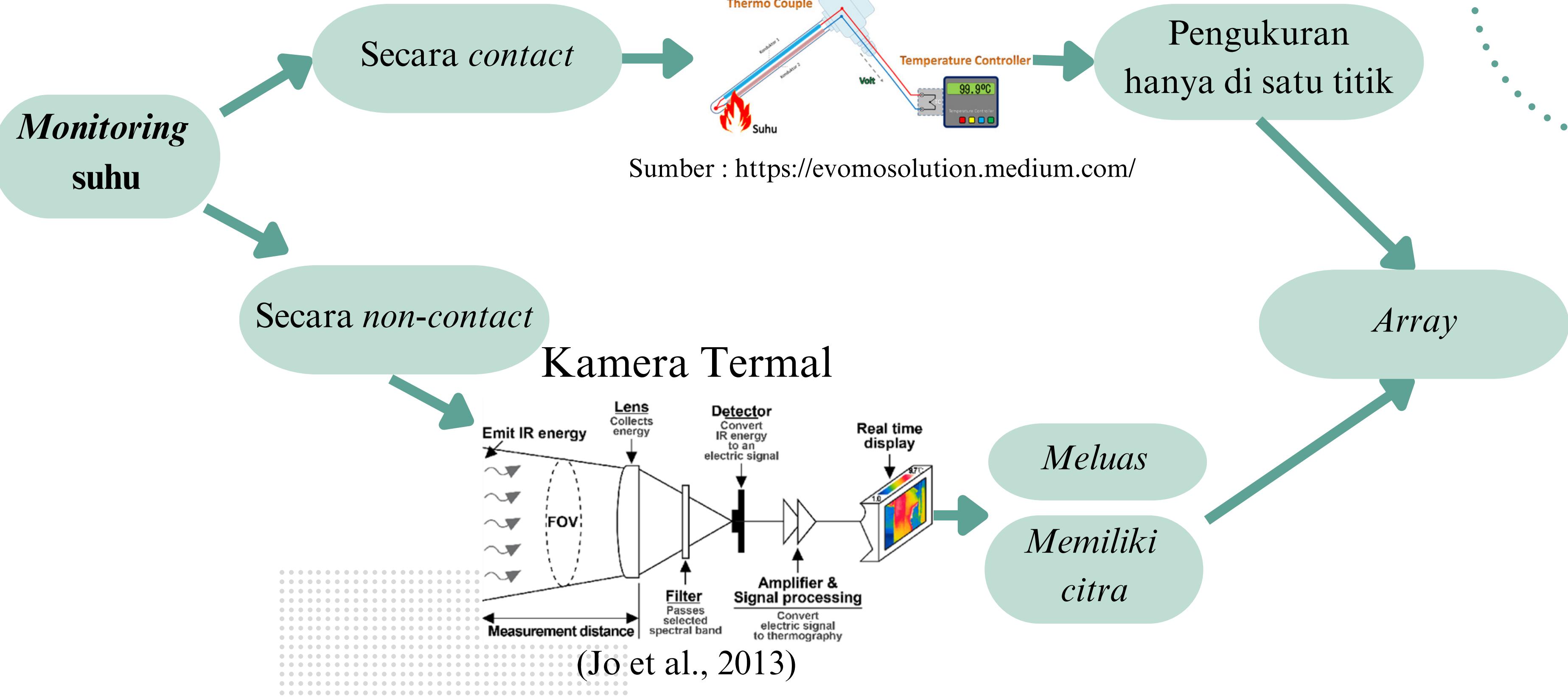


Distribusi yang tidak merata



Perubahan suhu yang cepat

Latar Belakang





Latar Belakang

Penelitian Terkait

Kamera Termal AMG8833

1. Resolusi pada sensor ini sebesar 8x8 atau 64 piksel (Achmadi, 2023; Jati & Rivai, 2020)
2. Rata - rata untuk kamera termal AMG8833 adalah 28,52 °C (Satriyo, 2021)
3. Nilai error untuk AMG8833 sebesar 21,9% (Satriyo, 2021)

Kamera Termal MLX90640

1. Resolusi pada sensor ini sebesar 32x24 piksel (Darwis, 2021; Tsvetkov, 2020)
2. Rata-rata suhu yang dihasilkan kamera termal MLX90640 sebesar 35,2 °C (Satriyo, 2021)
3. Nilai error untuk MLX90640 adalah 3,7% (Satriyo, 2021)

Termokopel Tipe K MAX6675

1. Rentang suhu yang dapat dibaca oleh alat adalah 25 - 600 Celcius
2. Termokopel mendekksi di satu titik (Syasti, Khairul, 2024)

Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang alat monitoring termal pada mesin menggunakan Raspberry Pi 4B+, termokopel tipe-k dengan modul MAX6675, dan sensor kamera termal MLX90640
2. Bagaimana karakteristik dari termokopel tipe-k dengan modul MAX6675 dan sensor kamera termal MLX90640 untuk sistem monitoring termal pada mesin
3. Bagaimana pengukuran suhu dengan memanfaatkan sensor termokopel tipe-k dengan modul MAX6675 dan kamera termal MLX90640 yang dilakukan secara simultan
4. Bagaimana mengembangkan website untuk sistem monitoring suhu pada mesin

Tujuan

1. Merancang alat monitoring termal pada mesin menggunakan Raspberry Pi 4B+, sensor termokopel tipe-k dengan modul MAX6675 ,dan sensor kamera MLX90640;
2. Menganalisis keefektifan sensor termokopel tipe-k dengan modul MAX6675 dan sensor kamera termal MLX90640 yang beroperasi secara simultan untuk mendeteksi perubahan suhu pada mesin dengan akurasi dan kecepatan real-time;
3. Mengembangkan visualisasi data termal pada mesin menggunakan IoT yang terintegrasi website



Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan pada penelitian ini adalah dapat merancang bangun alat monitoring termal pada mesin dan memvisualisasikan menggunakan IoT yang terintegrasi website dan diharapkan alat ini dapat diaplikasikan



BAB II

Kajian Pustaka

Monitoring

Suhu dan Kalor

Mesin

Sensor Suhu

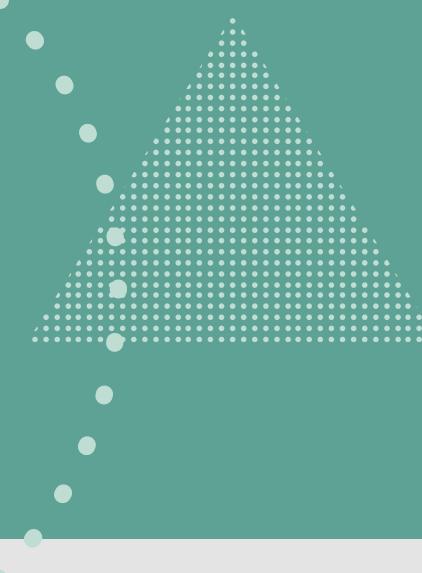
Kamera Termal

Citra

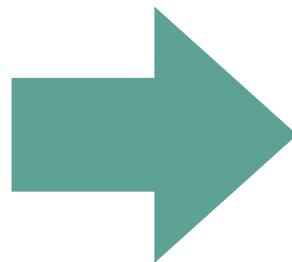
Internet of Things (IoT)

Instrumen yang digunakan

Kerangka Berfikir



Monitoring



Memelihara, menjaga, atau mengadakan perbaikan penggantian yang diperlukan
(Hidayah & Ahmadi, 2017)



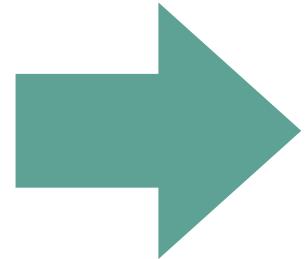
Jenis

- *Breakdown monitoring* atau *run to failure*
- *Preventive monitoring* atau condition based maintenance (CBM)
- *Predictive monitoring* atau teknik time based maintenance (TBM)

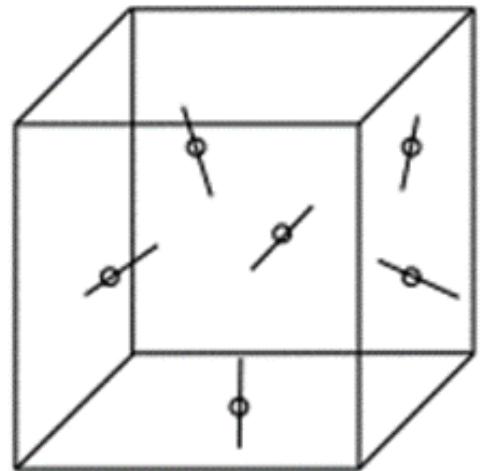
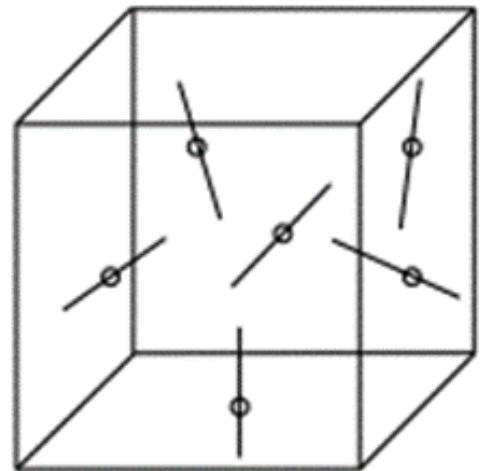
Proses



Suhu



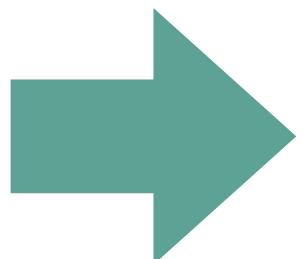
Dalam Termodinamika :
Ukuran rata-rata energi kinetik per
partikel dari suatu sistem (Litji,
2019)



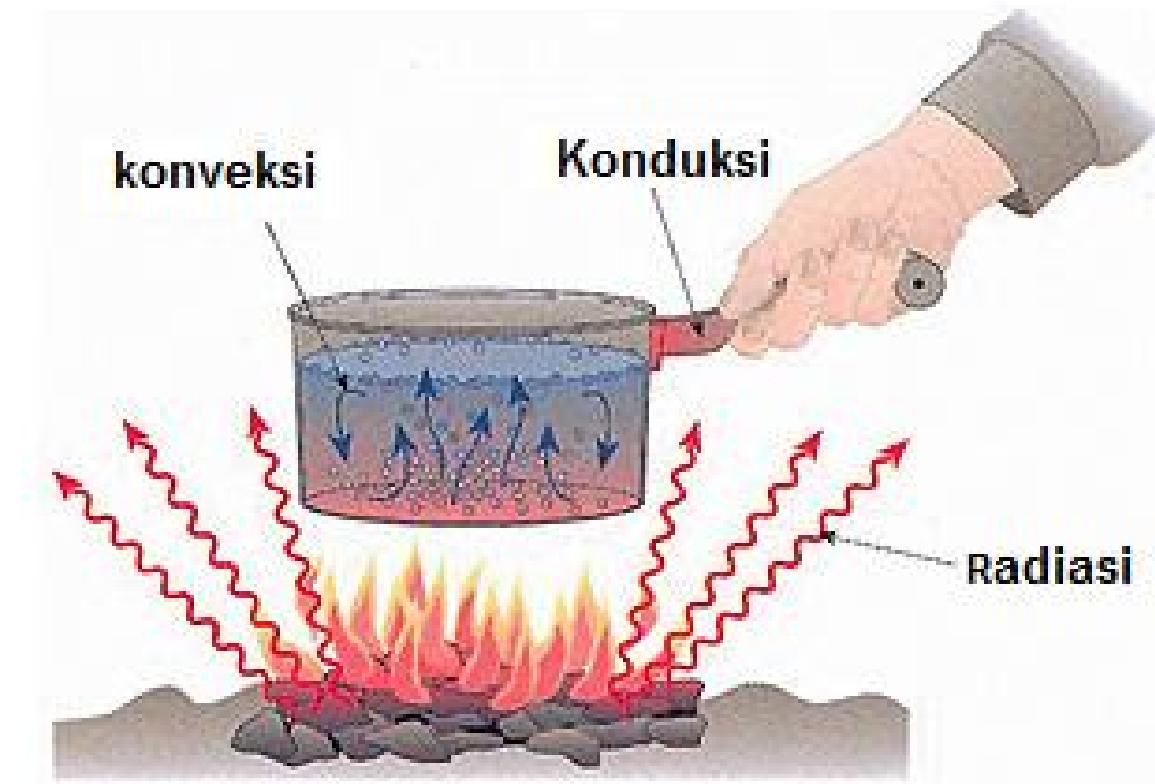
- Suhu tinggi
- Partikel bergerak cepat
- Atom penyusun merapat
- Energi yang dihasilkan tinggi
- Suhu rendah
- Partikel bergerak lambat
- Atom penyusun merenggang
- Energi yang dihasilkan rendah

(Halliday, 2013)

Kalor

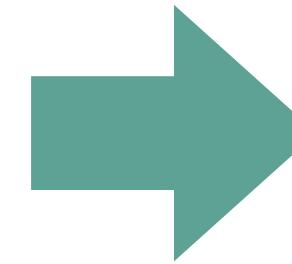


Energi yang
berpindah akibat
perbedaan suhu



Sumber : <https://kependidikan.com/>
(Halliday, 2013; Irawati et al., 2019;
S Siahaan, 2016)

Mesin



Peralatan yang prinsip kerjanya berdasarkan perubahan dua bentuk energi pada suatu sistem tertentu

Batas suhu normal



Sumber : <https://otomotif.kompas.com>

Penyebab terjadinya *overheat*:

1. Kerusakan kipas pendingin
2. Tidak cukupnya medium pendingin
3. Kerusakan Termostat
4. Tersumbatnya tangki penampungan air
5. Kerusakan pompa air
6. Kerusakan silinder mesin sehingga gesekan piston menyebabkan panas berlebihan (Ahmad Yuvi Utomo, 2022)

Sensor Suhu Jenis

*Sensor suhu
kontak*



Sumber : <https://www.sentrakalibrasiindustri.com/>

Suatu komponen yang dapat mengubah panas menjadi listrik untuk mendeteksi gejala perubahan suhu pada suatu benda tertentu



Termokopel Termistor

*Sensor suhu Non
kontak*



Sumber : <https://www.sentrakalibrasiindustri.com/>

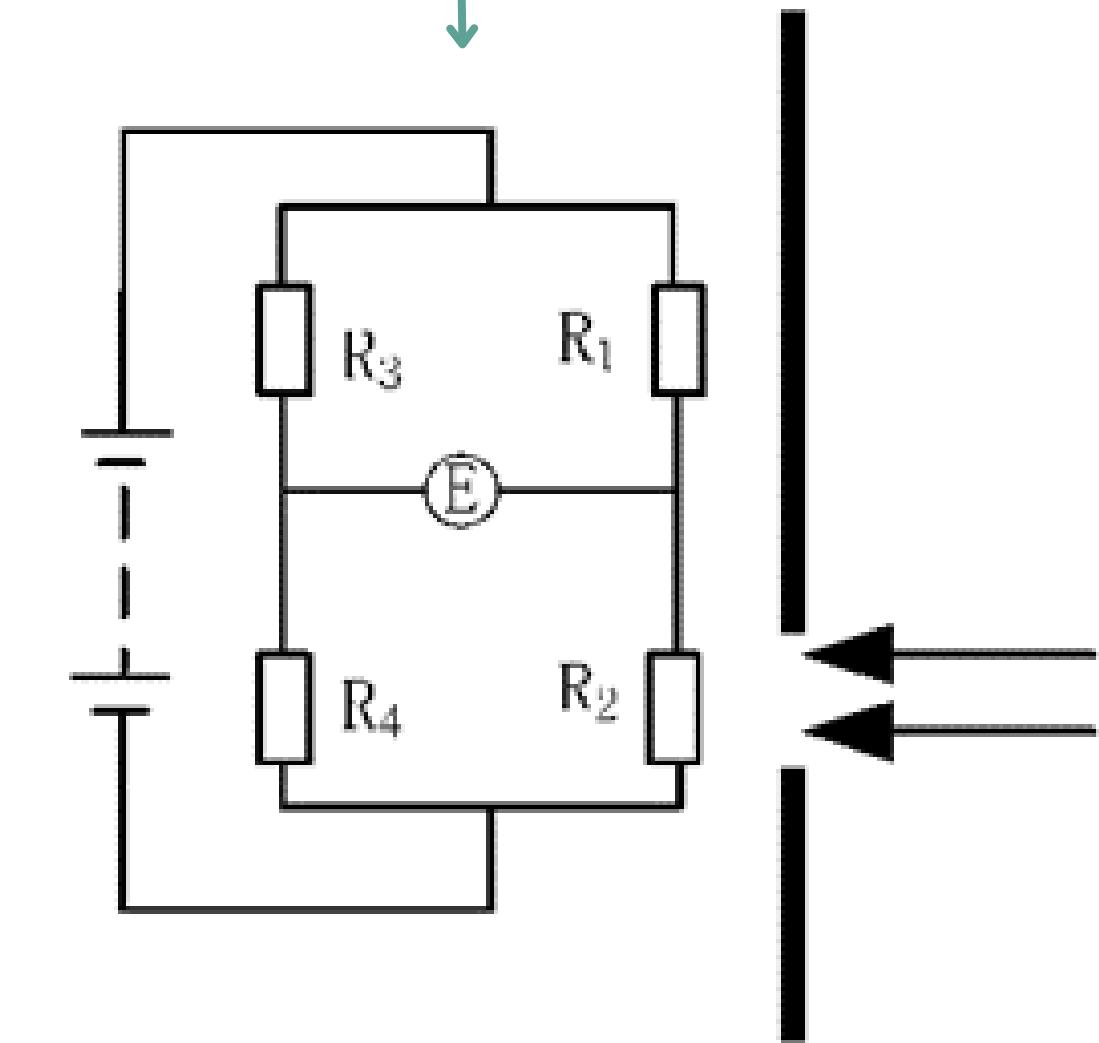
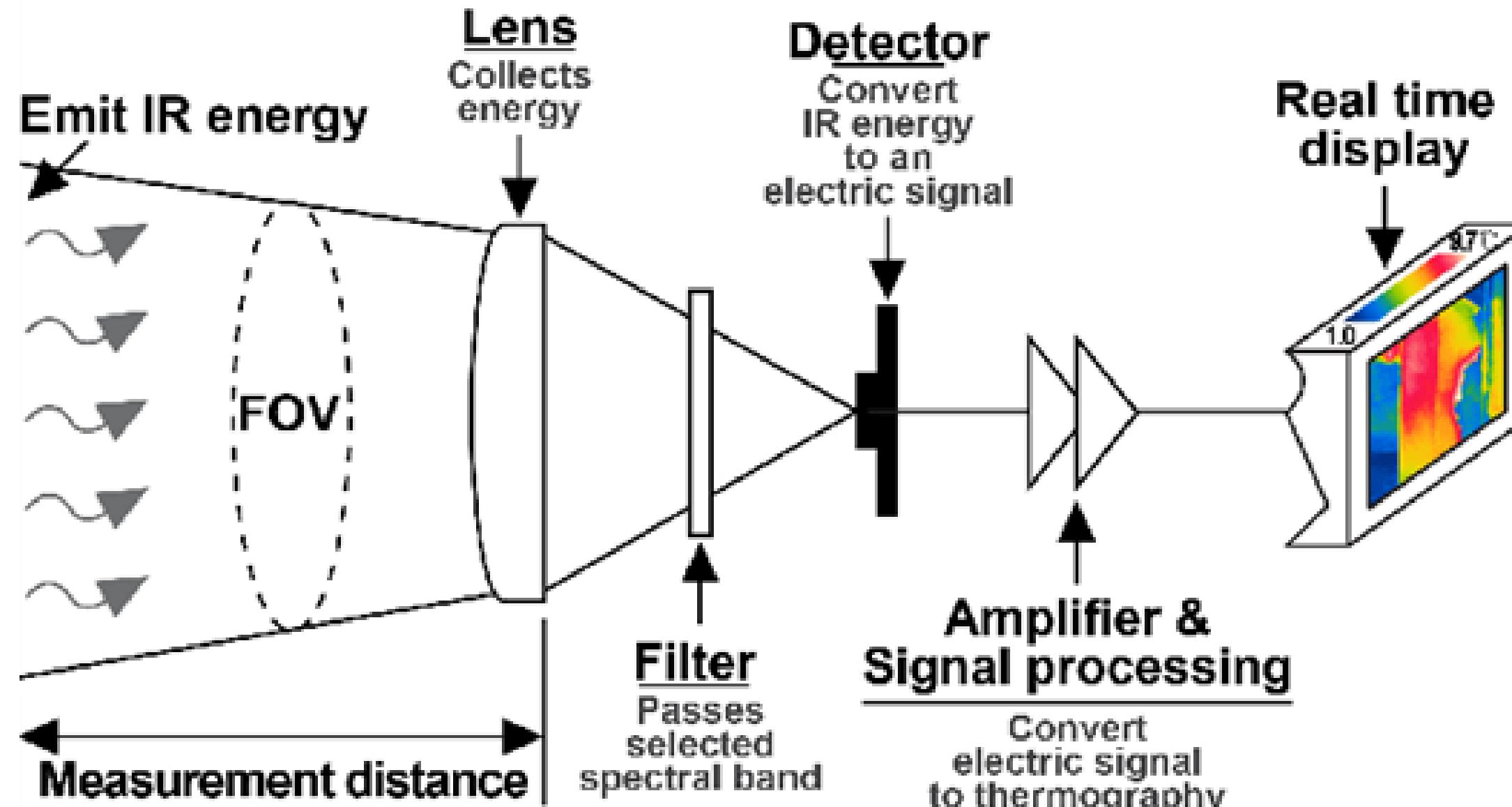


Kamera termal

Kamera Termal

Struktur dan Prinsip Kerja

Mendeteksi energi panas atau radiasi inframerah berupa bahan termofilik yang disusun berjajar membentuk suatu bidang persegi.

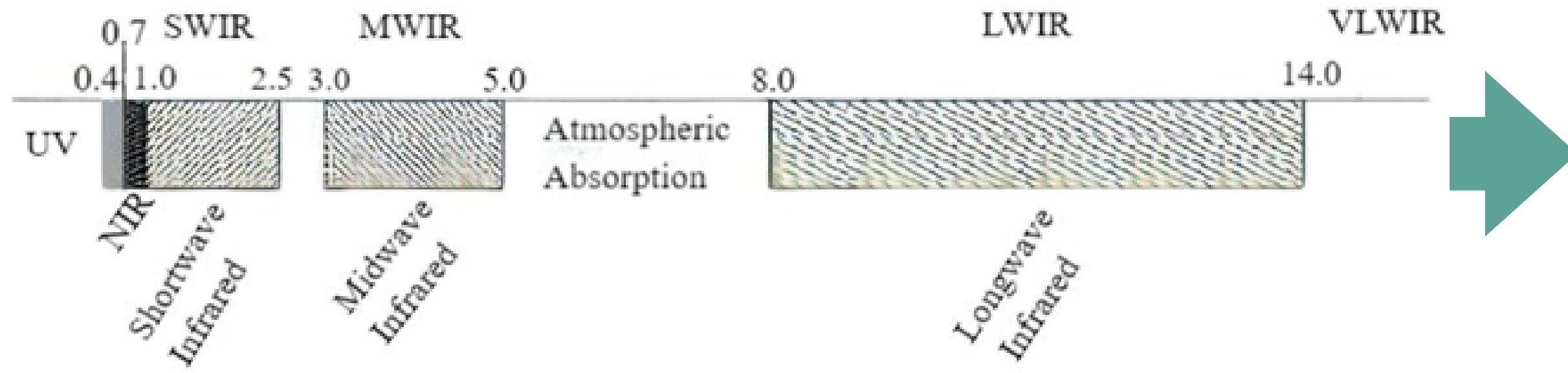


Kamera Termal

Faktor yang mempengaruhi

Gelombang Inframerah

- Suhu Benda sebanding Radiasi Inframerah
- Semua benda yang memiliki suhu di atas nol derajat kelvin dianggap memancarkan panas.



(Muda et al., 2017)

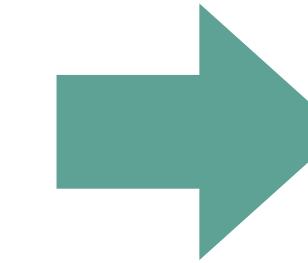
1. Bahan objek pengukuran
2. Kondisi permukaan
3. Sudut pengukuran
4. Panjang gelombang
5. Suhu benda

- Panjang gelombang 3 μm- 1.0 mm (MWIR - VLWIR) = Inframerah termal

↓
Emisivitas

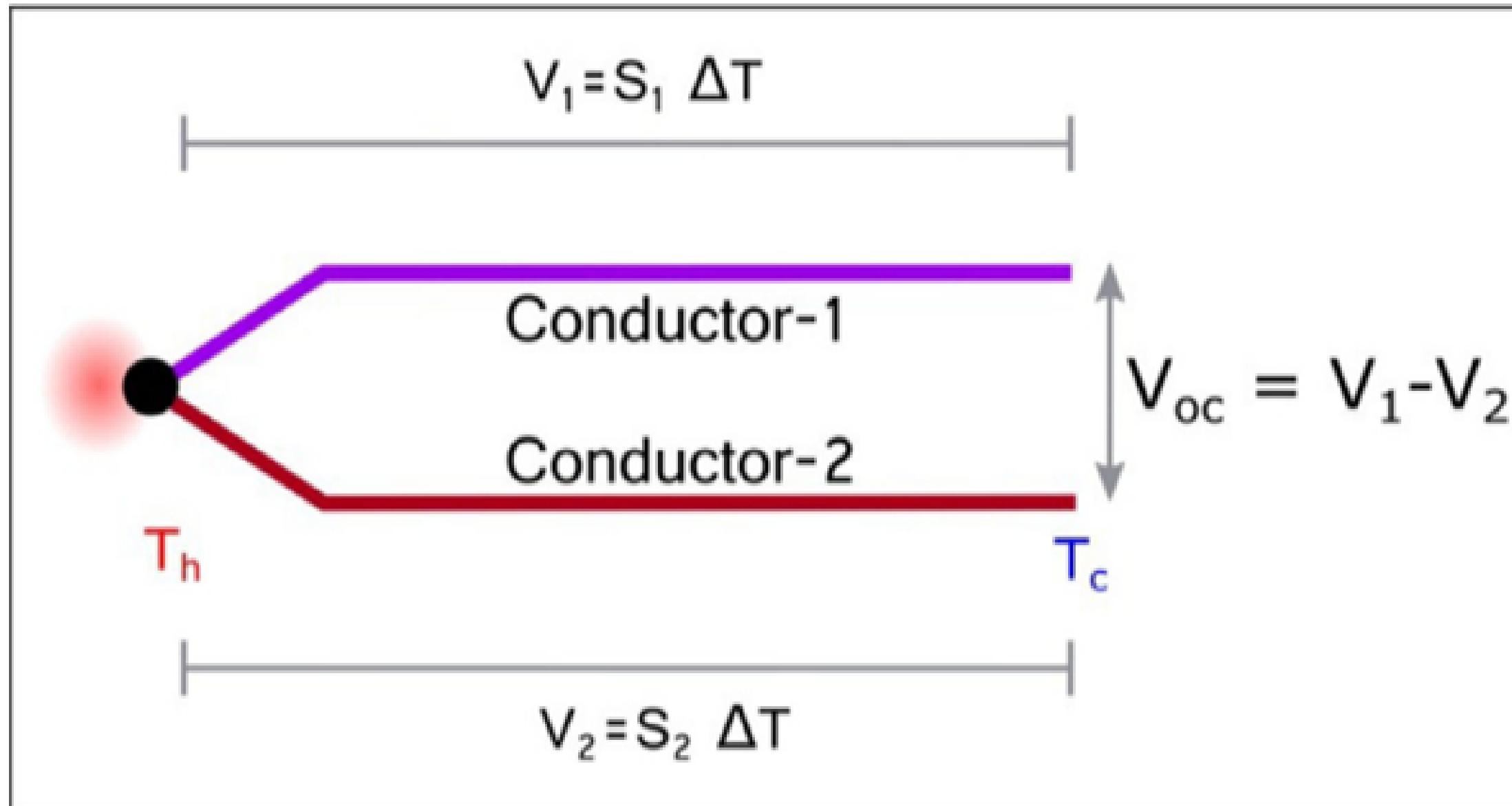
Kemampuan suatu permukaan untuk memancarkan energi termal

Termokopel



Bekerja dengan mendeksi atau mengukur suhu menggunakan dua jenis logam konduktor yang berbeda dan digabungkan pada ujungnya untuk menciptakan efek "Thermo-electric".

Prinsip Kerja



(Mulla & Dunnill, 2021)

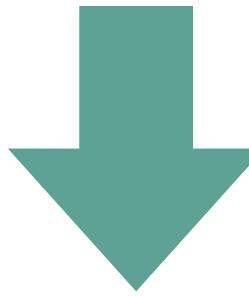
Th tidak di tempelkan suhu panas
maka, $V_1 = V_2$ (Tidak ada Tegangan)

Th di tempelkan suhu panas

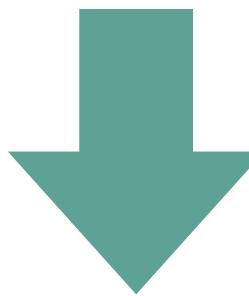
Tegangan (V_{oc})

$V_{oc} = V_1 - V_2$

Internet of Things (IoT)



Menghubungkan objek yang memiliki identitas dan alamat IP



Internet

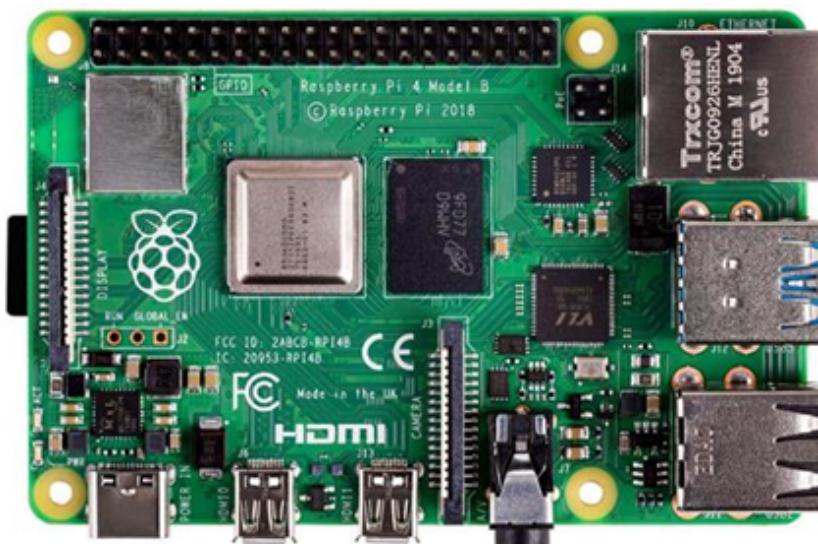
Instrumen yang digunakan

MLX90640



- Memiliki resolusi 32 x 24 piksel
- Memiliki rentang suhu dari -40°C hingga 300°C
- Memiliki maksimum frame rate 16 Hz
- Mempunyai field of view (ruang pandang) 110°x75°
- Tegangan input 3,3-5V, diatur 3,3V saat breakout (Singgih et al., 2022)

Raspberry Pi 4B+



- Memiliki 2 USB 3.0 ports; 2 USB 2.0 ports
- Memiliki gigabit ethernet over USB 2.0 (maximum throughput 300 Mbps)
- Memiliki 40-pin GPIO header
- Penyimpanan data di Micro SD (Raspberry, n.d.)

Termokopel Tipe -K



- Range suhu 0°C – 400°C
- Probe berbentuk fitted bolts
- 2 konduktor sebagai output kabel (Sarasetyo, 2017).



Modul digital MAX6675

- Resolusi data keluaran 12 bit.
- Mengukur cold junction dengan rentang -20°C - 80°C
- Mendukung komunikasi SPI dengan mikrokontroler (Integrated, 2021)

Kerangka Berpikir

Batas suhu normal



Kerusakan Mesin



Perawatan

- Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem *monitoring* termal pada mesin untuk mencegah terjadinya *overheating*.
- Sistem ini menggunakan teknologi IoT terintegrasi melalui *website* sehingga data nilai suhu mesin dapat disimpan dalam *database* sebagai perekam data.
- Alat ini dibuat dengan menggunakan kamera termal MLX90640, termokopel tipe-k dengan modul MAX6675, serta kontrolernya adalah Raspberry Pi 4B+, serta ditampilkan melalui layar monitor dan *website*

Sumber : <https://otomotif.kompas.com>



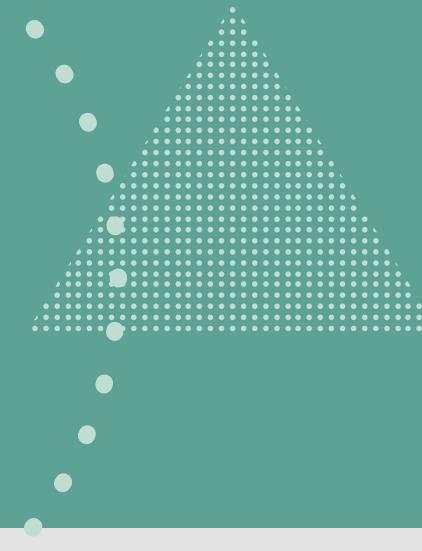
BAB III

Metodologi Penelitian

Tempat dan Waktu Penelitian

Metodologi Penelitian

Teknik Pengumpulan dan Analisis Data





Tempat dan Waktu

Tempat:

Laboratorium Fisika Instrumentasi,
Fakultas Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam, Universitas Negeri
Jakarta dan Laboratorium D3 Teknik
Elektronika, Fakultas Teknik, Universitas
Negeri Jakarta

Waktu :

Januari – Juni 2024

No.	Kegiatan	Bulan Ke-					
		1	2	3	4	5	6
1.	Menyiapkan alat dan bahan						
2.	Karakterisasi sensor						
3.	Perancangan perangkat keras						
4.	Perancangan perangkat lunak						
5.	Pembuatan sistem <i>monitoring</i>						
6.	Uji coba sistem						
7.	Pengambilan data dan <i>monitoring</i> data						
8.	Pengolahan dan analisis data						
9.	Publikasi dan Laporan						

Metodologi Penelitian

Alat dan Bahan



Raspberry Pi 4B+



Sensor MLX90640



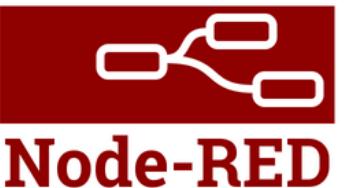
SD Card



Laptop



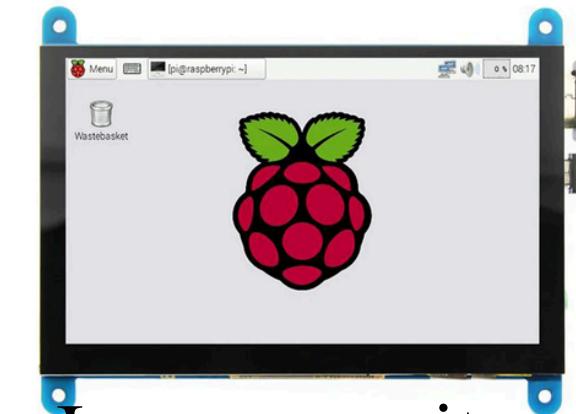
Real VNC



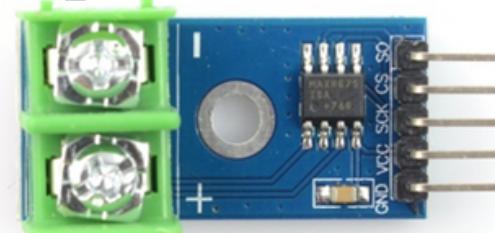
Node-Red



Termokopel Tipe K



Layar monitor



Modul digital MAX6675



Termogun
Industri



Termometer Termokopel



Grafana
Grafana



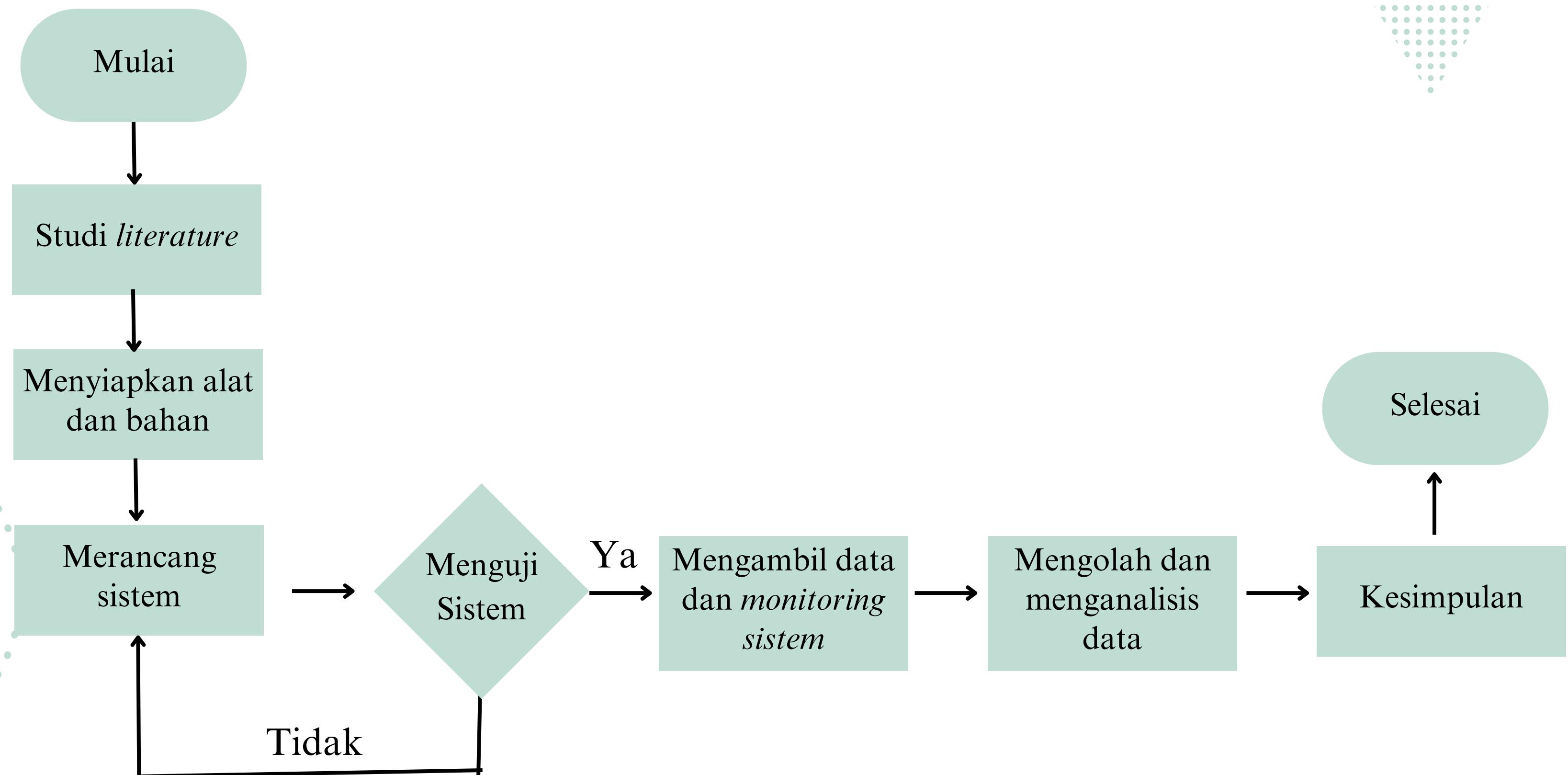
InfluxDB



Kabel

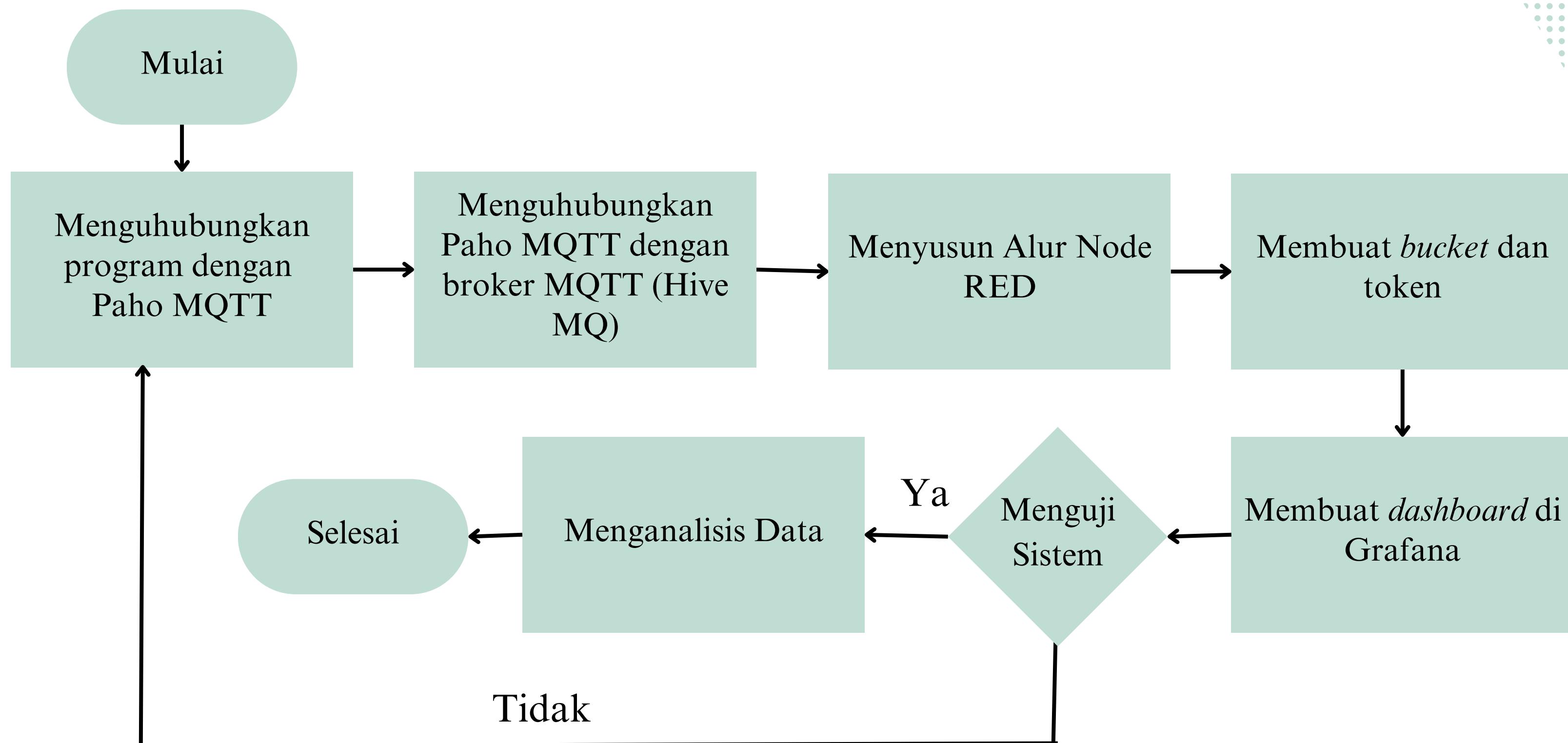
Metodologi Penelitian

Diagram Alir Penelitian



Metodologi Penelitian

Diagram Alir Sistem IoT



Metodologi Penelitian

Diagram Blok

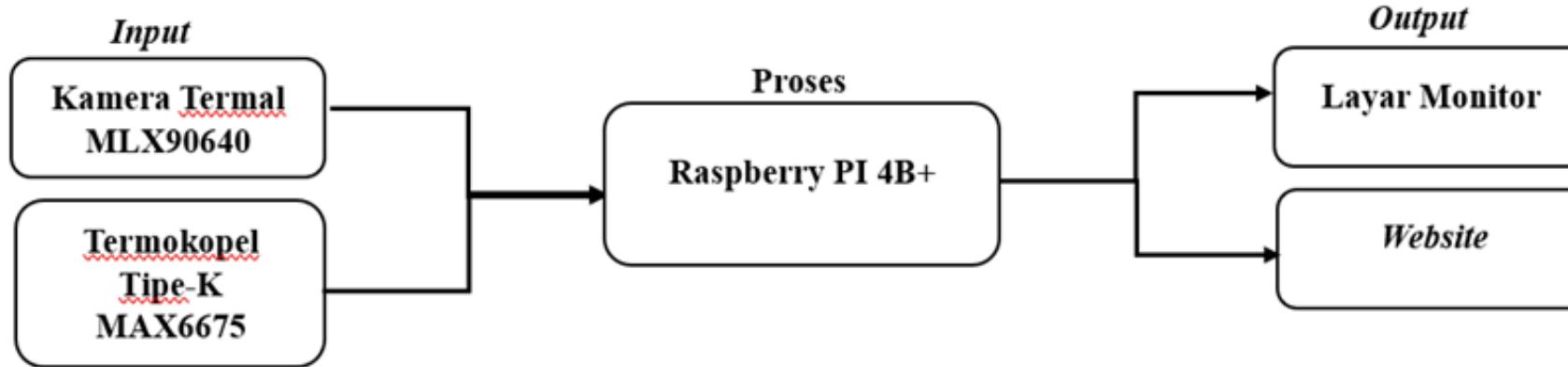
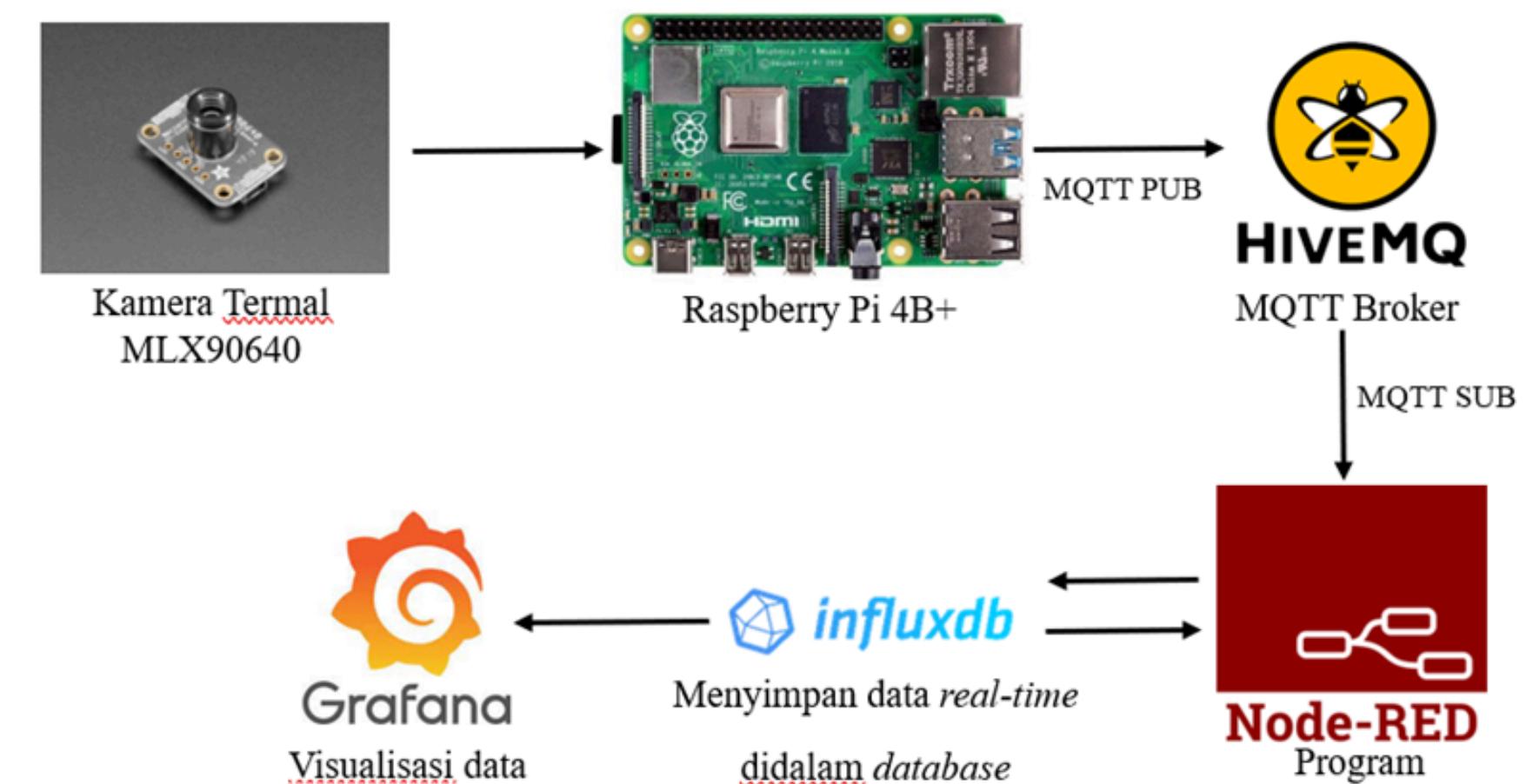


Diagram Sistem IoT



Teknik Pengumpulan dan Analisis Data



Teknik Pengumpulan Data

- Observasi
- Sensor termal diarahkan ke mesin yang diukur. Data diambil setiap 10 menit sekali

Teknik Analisis Data

- Data yang diperoleh berupa nilai suhu dan citra termal mesin
- Data keluaran akan dianalisis menggunakan pendekatan kuantitatif untuk mengetahui kondisi mesin.
- Mesin overheated = lebih dari batas normal





BAB IV

Hasil Dan Pembahasan

Karakteristik Sensor

Perancangan Alat

Tampilan Gambar Termal

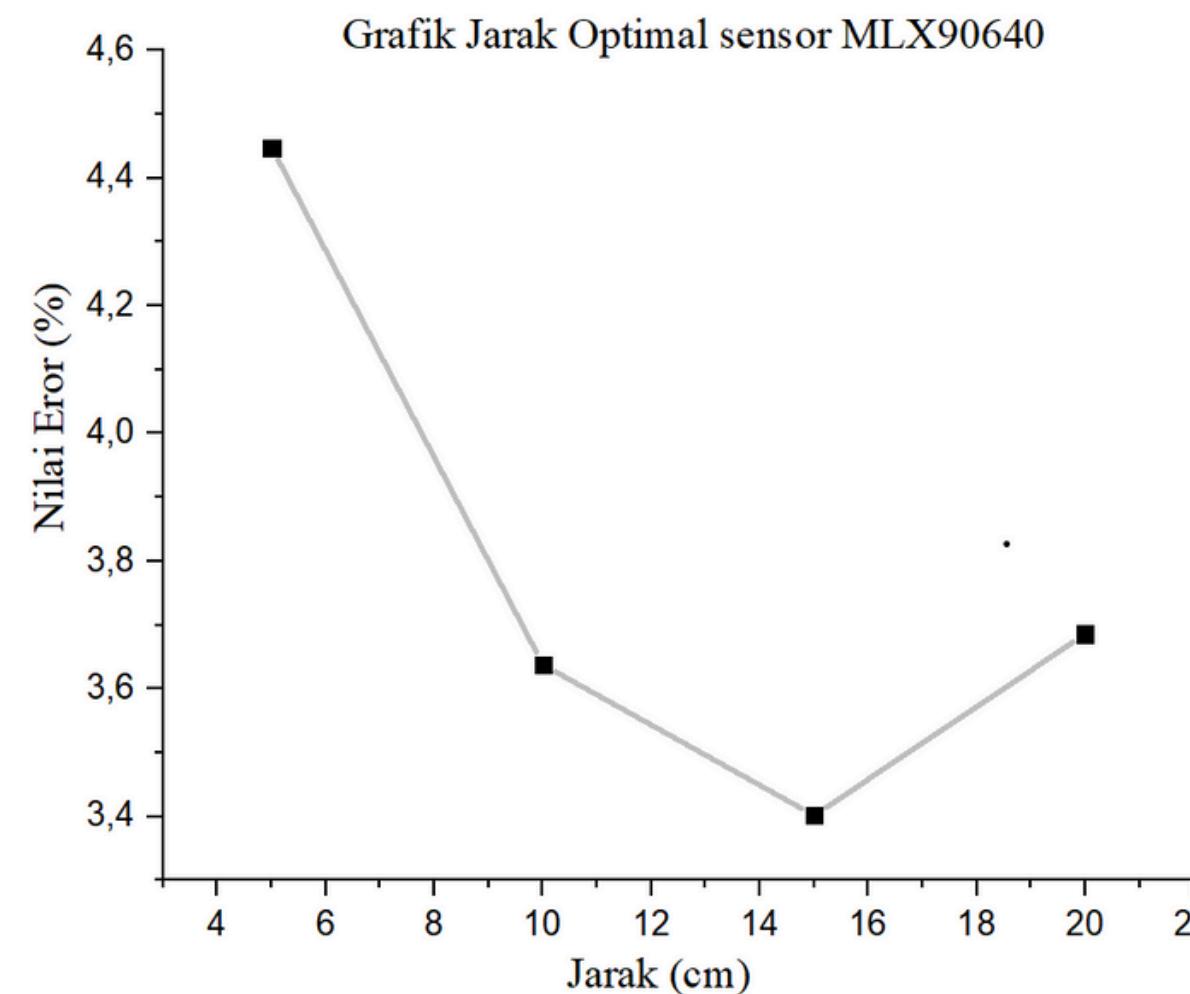
Perancangan Sistem *monitoring* berbasis IoT

Pengujian Seluruh Sistem



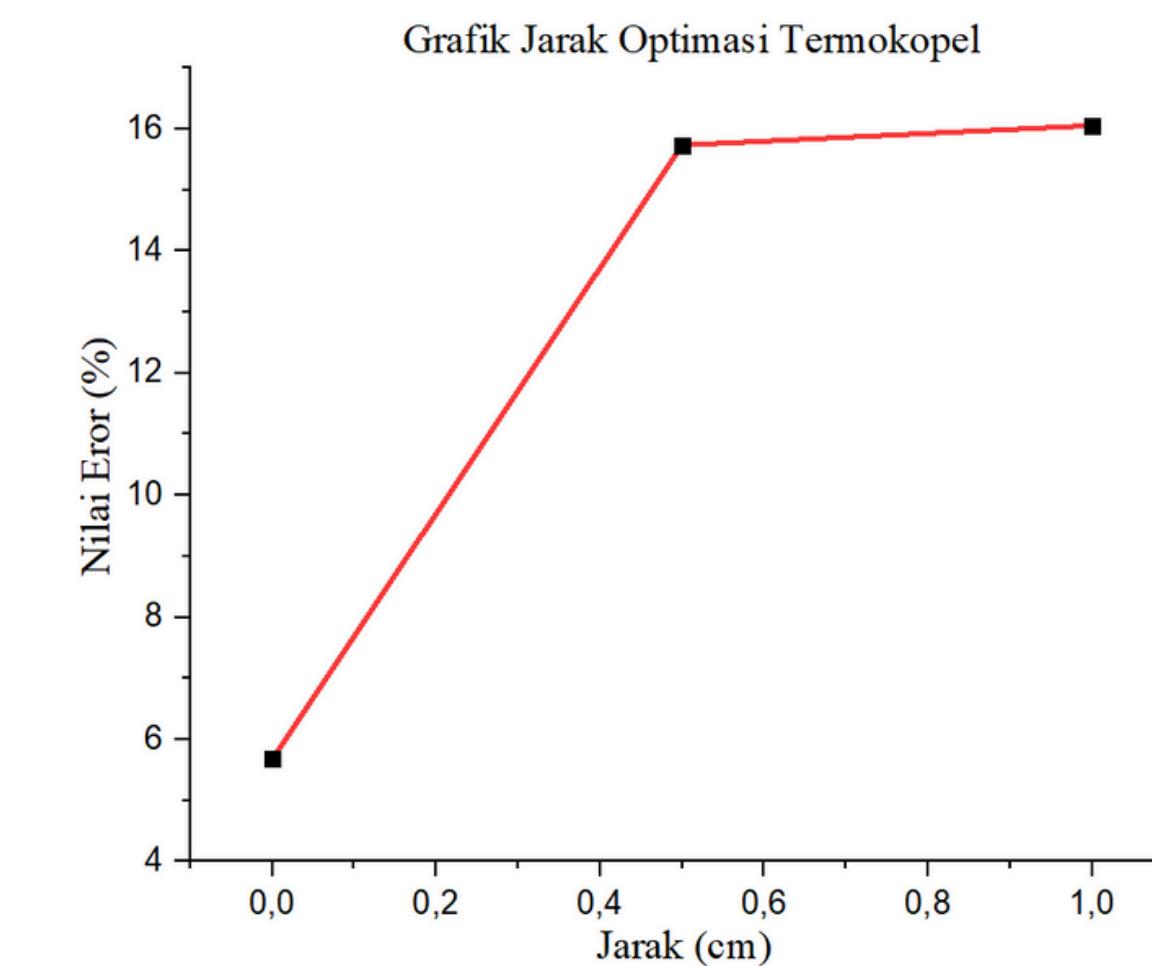
Karakterisasi Sensor

Kamera Termal MLX90640



Jarak Optimal Sensor

Termokopel Tipe-K dengan Modul MAX6675

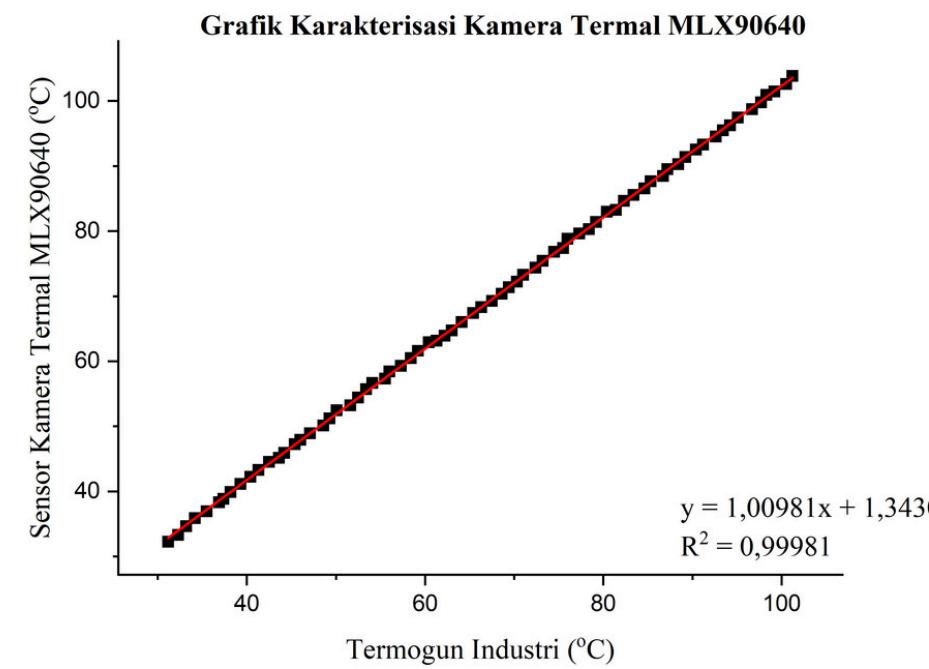


Jarak (cm)	Eror (%)
5	4,45
10	3,64
15	3,4
20	3,69

Jarak (cm)	Eror (%)
0	2,64
0,5	16
1	19,11

Karakterisasi Sensor Kalibrasi Sensor

Kamera Termal MLX90640

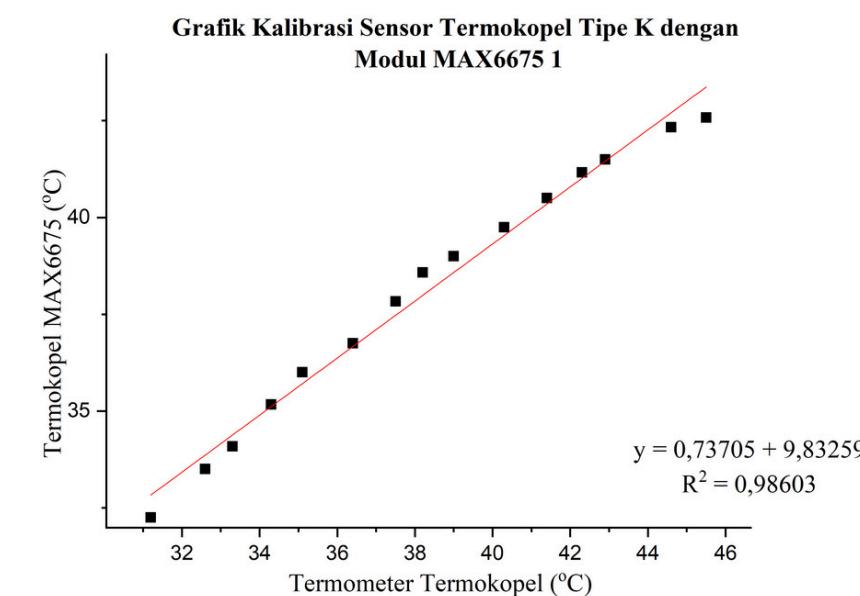


Persamaan invers : $y = 0,9901x - 1,31764$

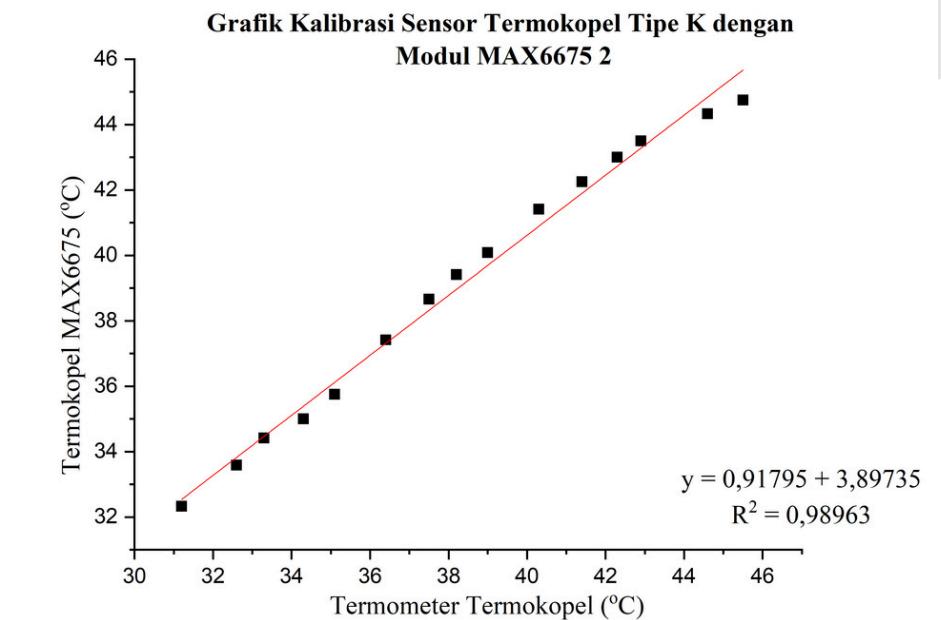
Persamaan invers

Termokopel 1	$y = 1,3378x - 12,619$
Termokopel 2	$y = 1,0781x - 3,8046$
Termokopel 3	$y = 1,045x - 2,7747$
Termokopel 4	$y = 1,169x - 6,8894$

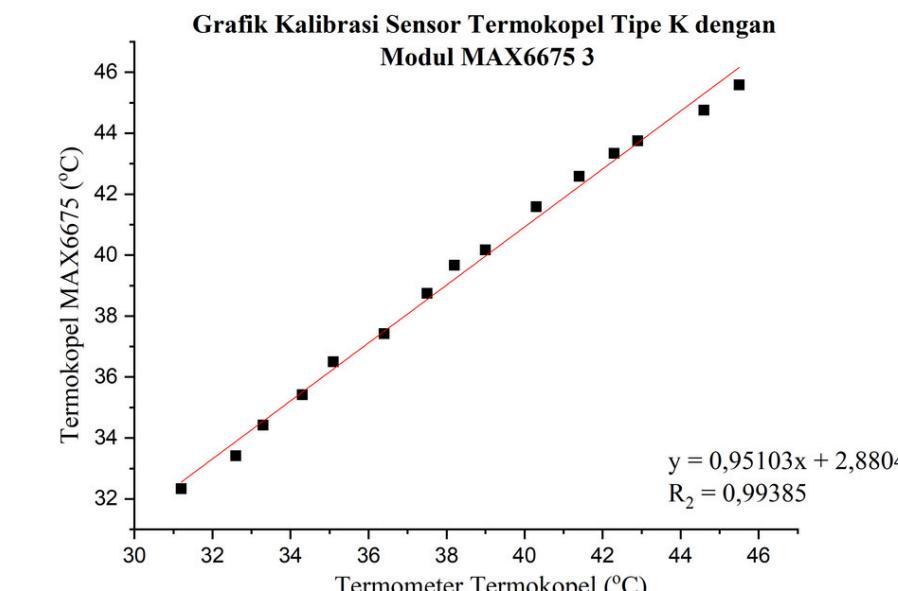
Termokopel Tipe-K dengan Modul MAX6675



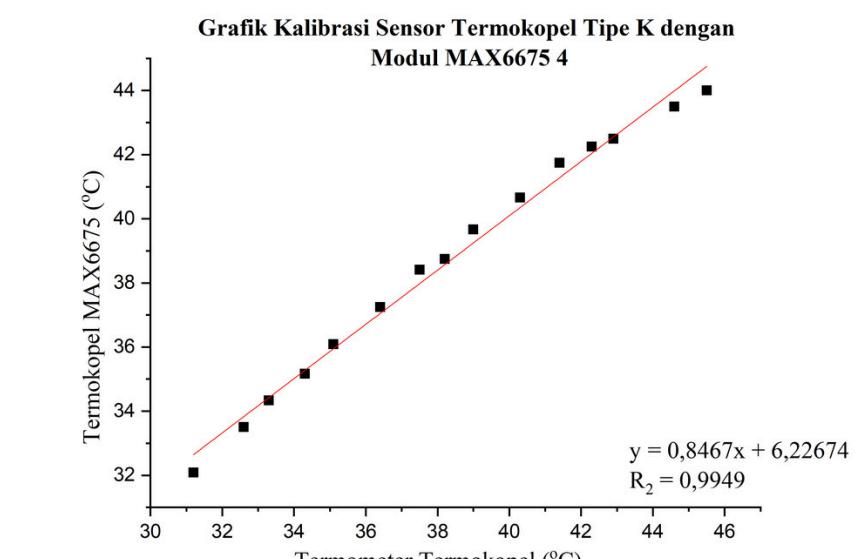
Termokopel 1



Termokopel 2



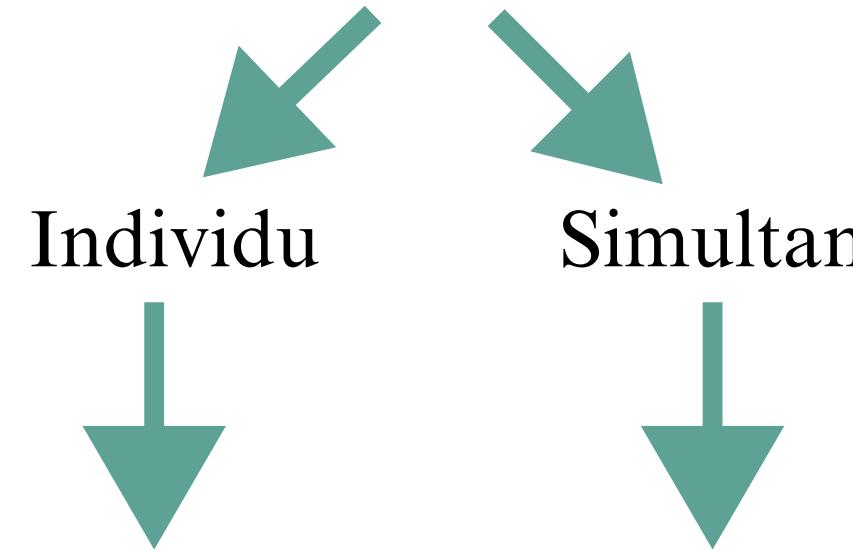
Termokopel 3



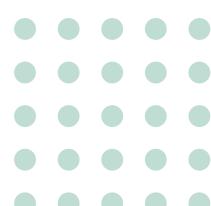
Termokopel 4

Karakterisasi Sensor

Pengujian Sensor



- *Oven* listrik
- Panggangan listrik
- Setrika



Individu

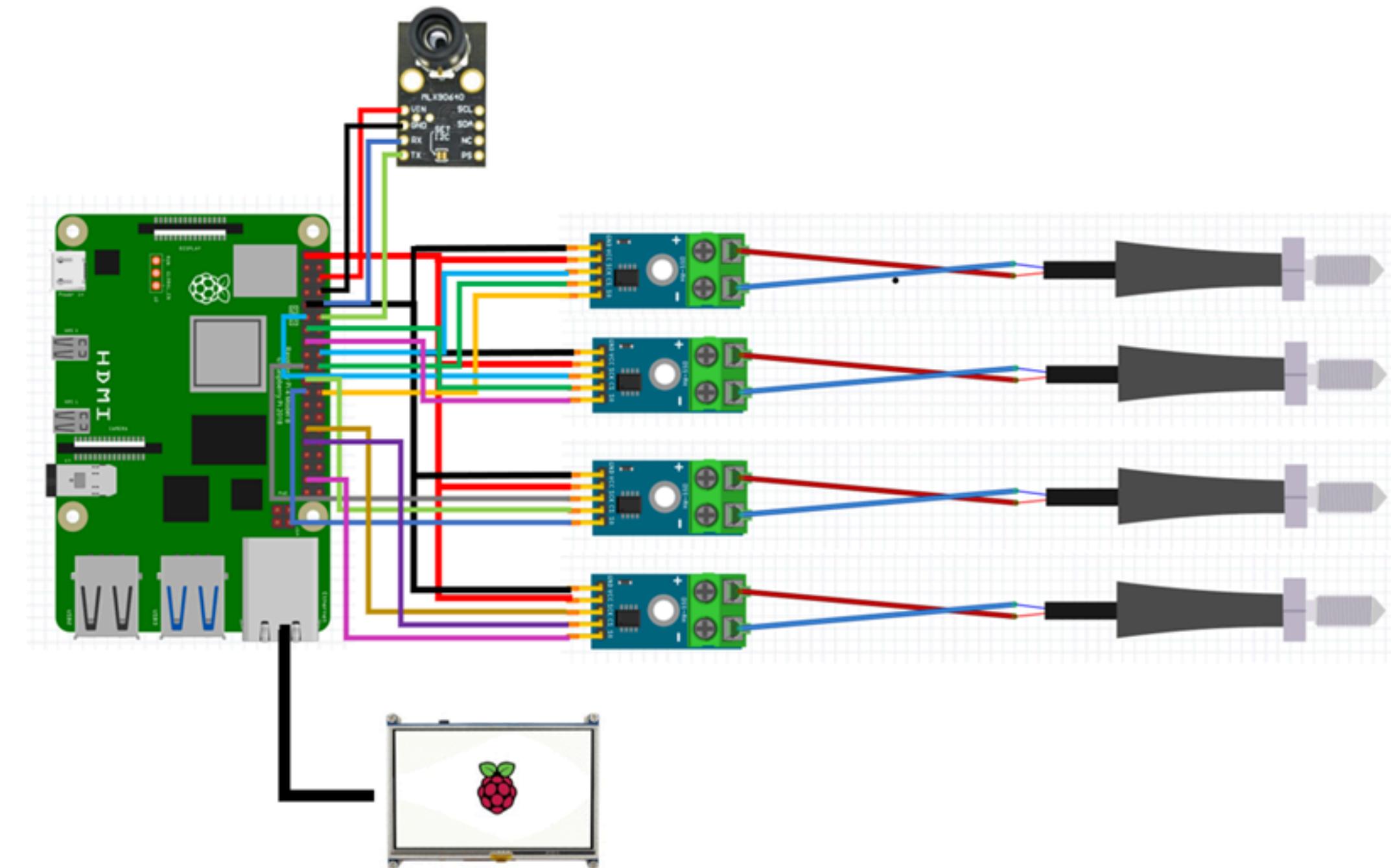
Sensor	Eror (%)		
	<i>Oven</i> listrik	<u>Penggangan</u> listrik	<u>Setrika</u>
Sumber Panas			
MLX90640	0,37	0,59	0,43
Termokopel 1	0,34	0,72	0,39
Termokopel 2	0,34	0,68	0,63
Termokopel 3	0,3	0,65	0,81
Termokopel 4	0,3	0,89	0,38

Simultan

Sensor	Eror (%)
Sumber Panas	<u>Penggangan</u> listrik
MLX90640	1,29
Termokopel 1	1,83
Termokopel 2	0,9
Termokopel 3	1,04
Termokopel 4	1,9

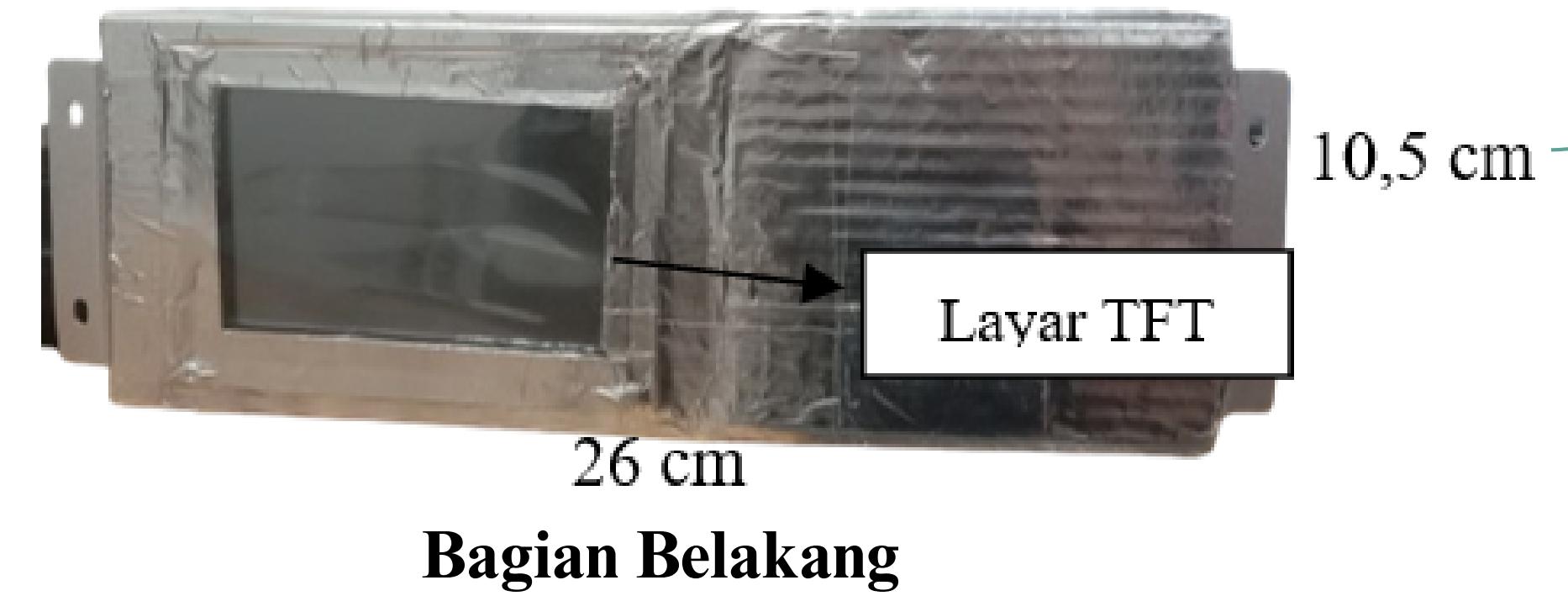
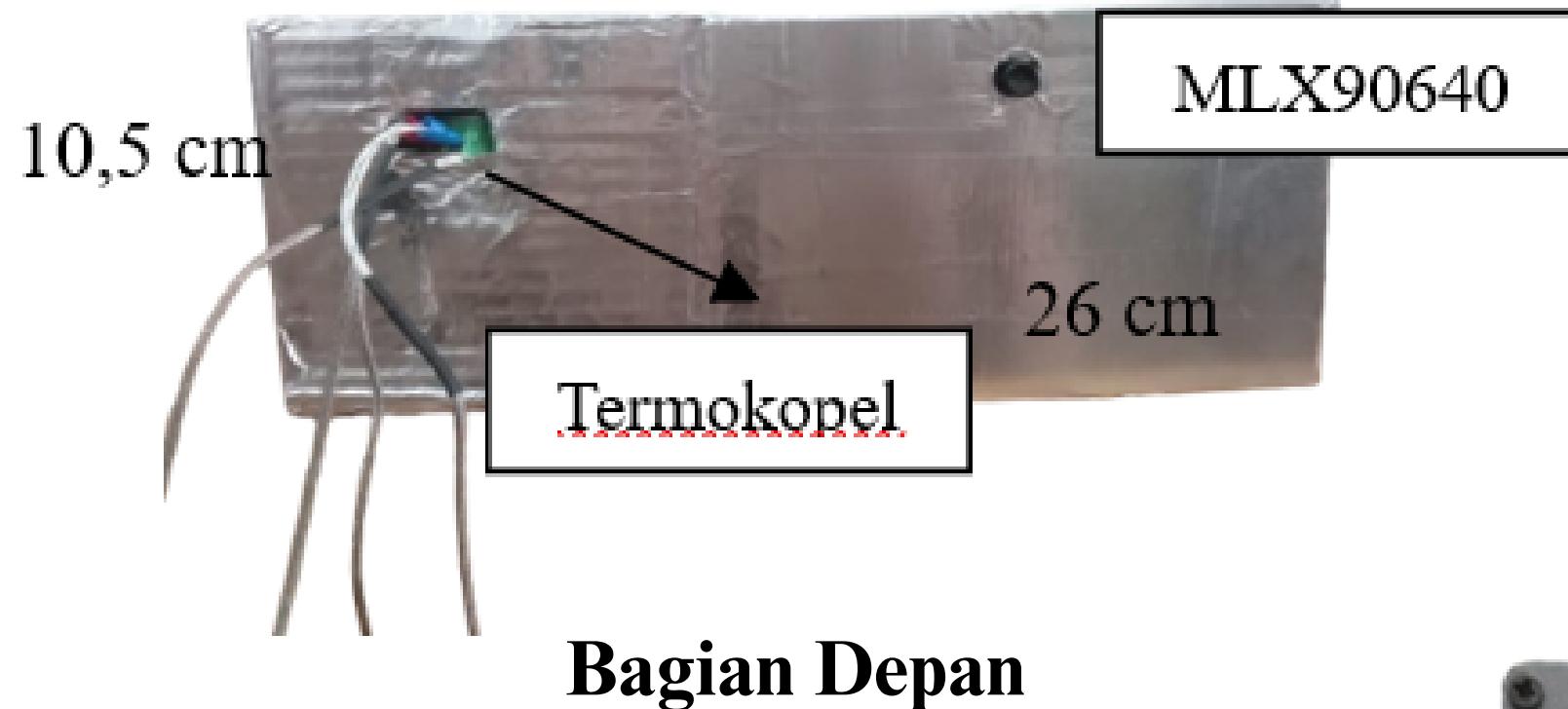
Perancangan Alat

Perangkat Keras



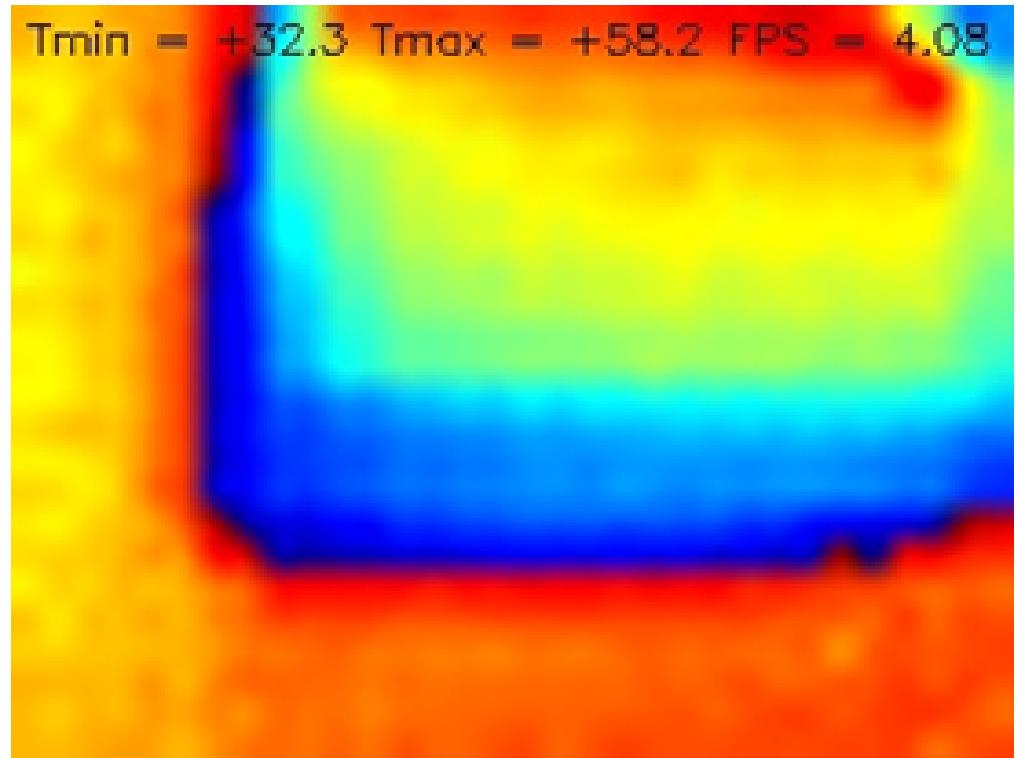
Perancangan Alat

Casing

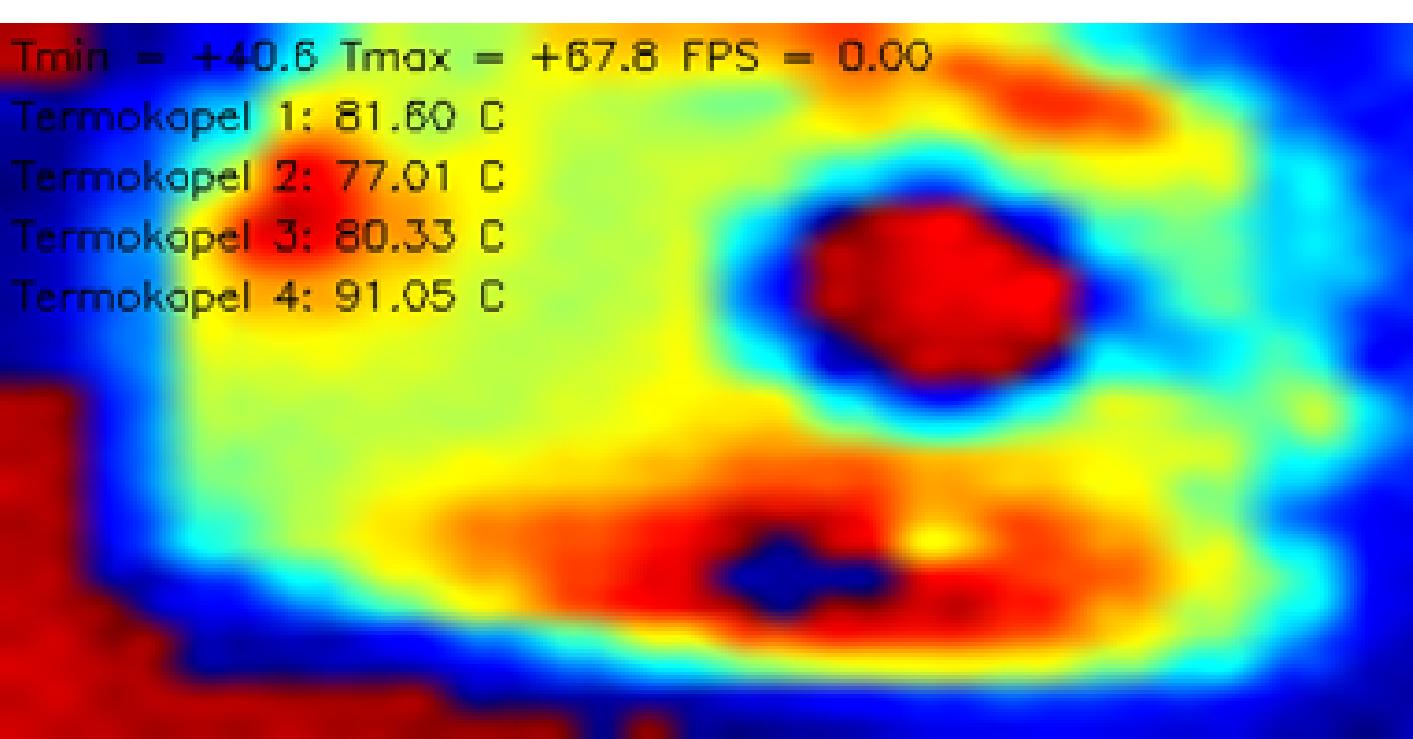


Perancangan Alat

Tampilan Gambar Termal



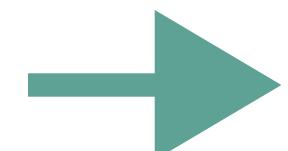
Oven listrik



Panggangan listrik

```
# Fungsi untuk mendapatkan suhu dari MCU (derajat Celsius x 100)
def get_temp_array(d):
    # Mendapatkan suhu ambien
    T_a = (int(d[1540]) + int(d[1541])*256)/100
    # Mendapatkan array mentah suhu piksel
    raw_data = d[4:1540]
    T_array = np.frombuffer(raw_data, dtype=np.int16)
    return T_a, T_array

# Fungsi untuk mengubah suhu ke piksel pada gambar
def td_to_image(f):
    norm = np.uint8((f/100 - Tmin)*255/(Tmax-Tmin))
    norm.shape = (24, 32)
    return norm
```

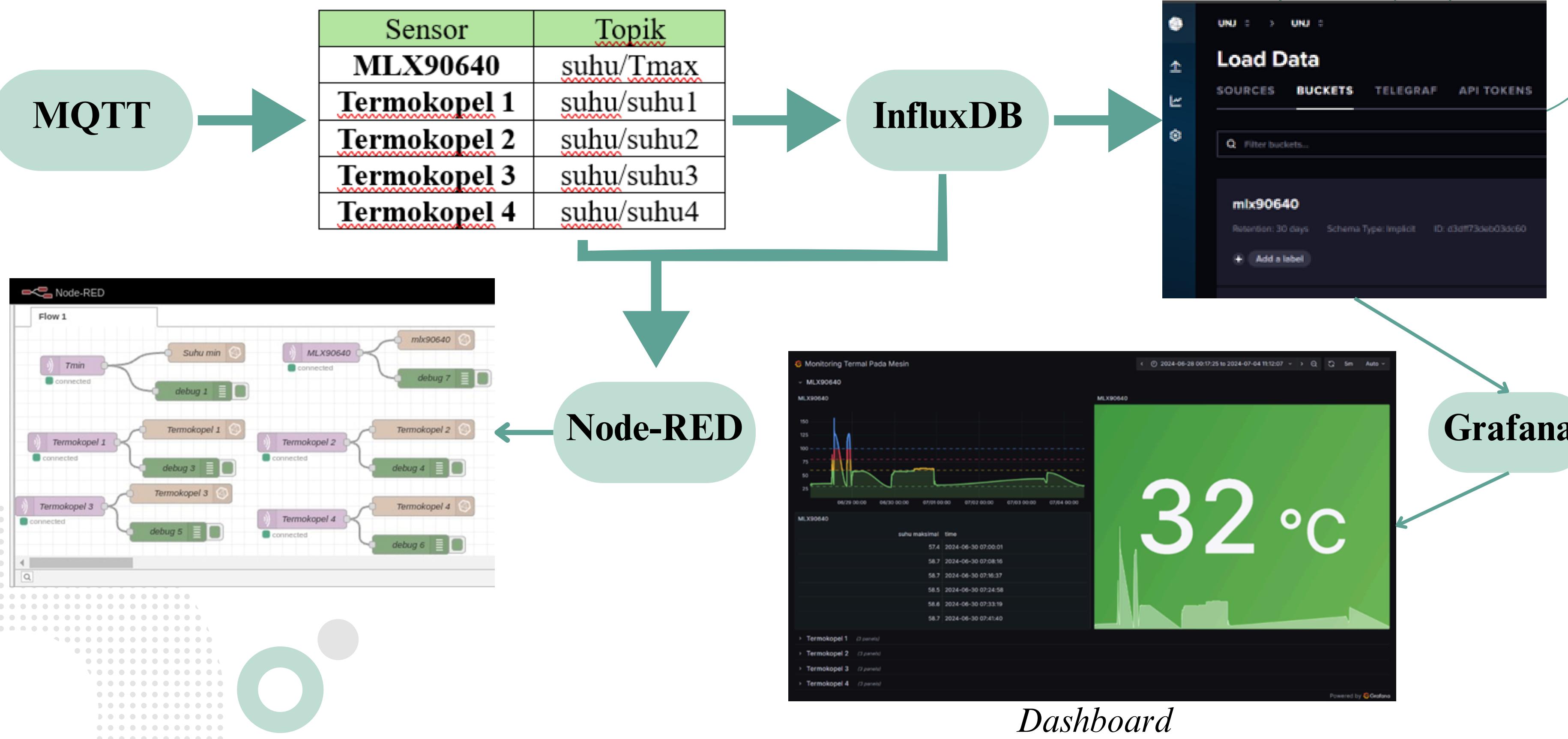


Rentang Warna Intensitas / Nilai Array Pada Piksel :

- 0 hingga 127: Gradasi warna dari biru hingga hijau (Suhu rendah)
- 128 hingga 255: Gradasi warna dari kuning hingga merah (Suhu Tinggi)

Perancangan Alat Perancangan Sistem IoT

Protokol Komunikasi *software* yang digunakan



Perancangan Alat Perancangan Sistem IoT

Menu pada website

www.sistemmonitoringlingkunganindustri.weebly.com



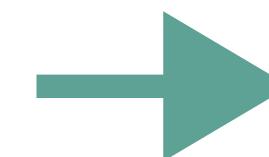
The screenshot shows the Weebly website builder interface with the 'Build' tab selected. The main preview area displays a landing page titled 'SISTEM MONITORING LINGKUNGAN INDUSTRI' with a large banner image and the text 'MONITORING TERMAL PADA MESIN'. On the left, there's a sidebar for 'PAGE NAME' (set to 'Home Termal'), 'HEADER TYPE' (set to 'Header'), and 'SEO Settings'. At the bottom, there are 'Copy' and 'Delete' buttons, and a note about removing Weebly branding.

- urgensi
- tujuan
- Suhu Ideal
- manfaat

Home

The screenshot shows a page titled 'SISTEM MONITORING LINGKUNGAN INDUSTRI' with a blue-themed background featuring circuit board graphics. The main content area has the word 'Monitoring' in large letters and a descriptive text: 'Dengan menekan tombol yang tersedia, Anda dapat melakukan monitoring Getaran, Termal, atau tingkat kebisingan secara langsung dan mendapatkan data yang akurat.' Below this is a button labeled 'MONITORING TERMAL'.

Monitoring



The screenshot shows the 'ABOUT US' page for the 'SISTEM MONITORING LINGKUNGAN INDUSTRI'. It features a large banner with various charts and graphs. Below the banner, there is a detailed description of the system's purpose and benefits: 'Website ini menyediakan platform untuk memantau termal pada mesin sehingga memungkinkan untuk mencegahnya dari overheating. Selain itu, Anda dapat menikmati keunggulan seperti akurasi tinggi dan kemampuan untuk mengumpulkan data secara real-time. Dengan fitur koneksi yang canggih, Anda dapat mengakses data dari jarak jauh, dan memantau kondisi secara langsung. Semua ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi operasional pada mesin.'

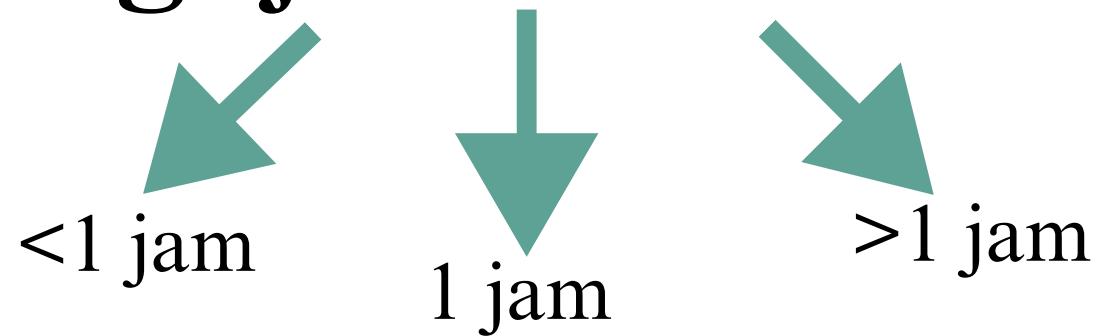
About Us

- jenis-jenis data
- rentang suhu
- spesifikasi dan kekurangan sistem

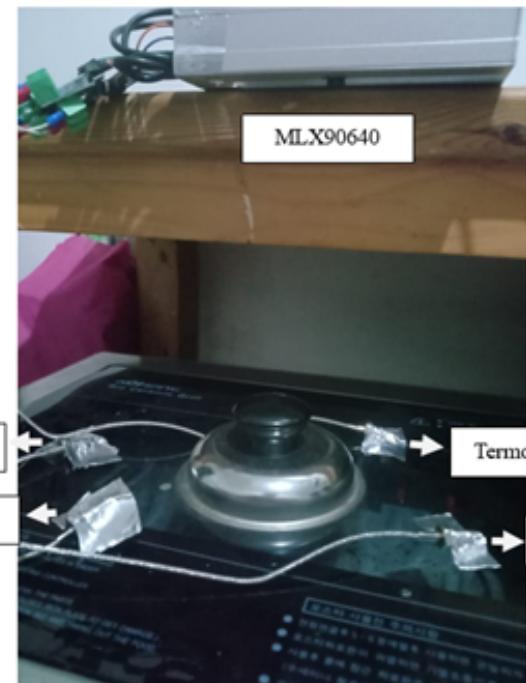


Dashboard

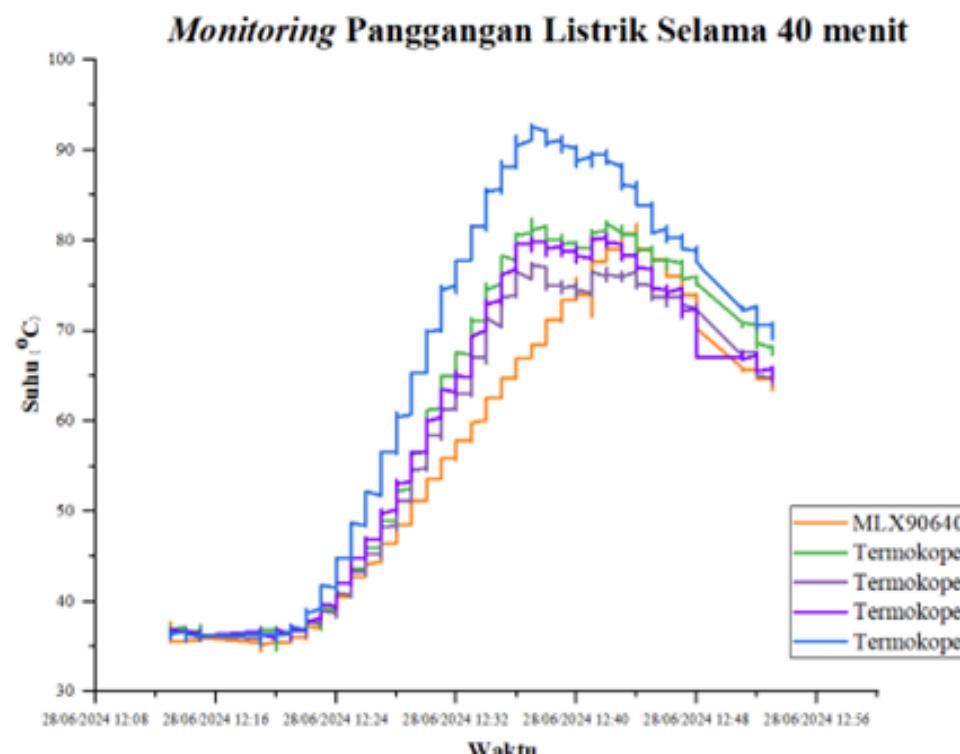
Pengujian Seluruh Sensor



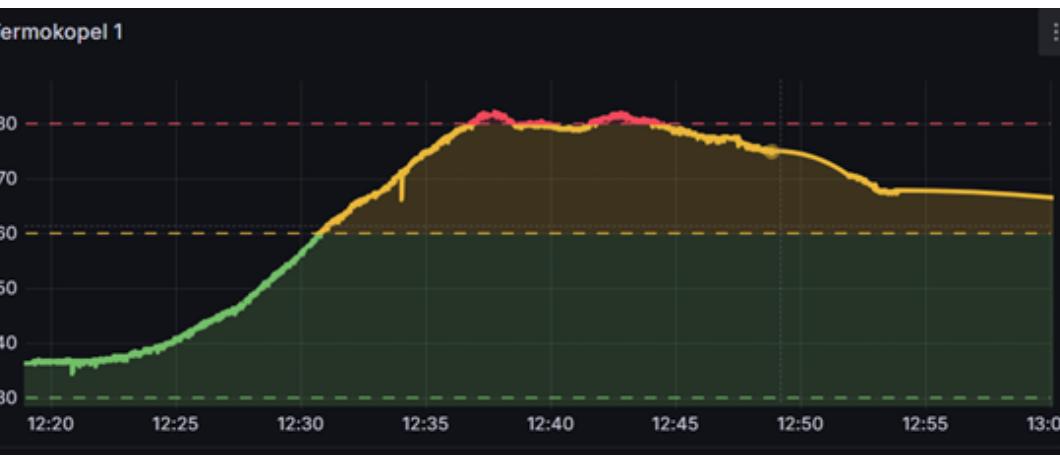
Pengujian <1 jam
Panggangan listrik



Dokumentasi



Grafik monitoring

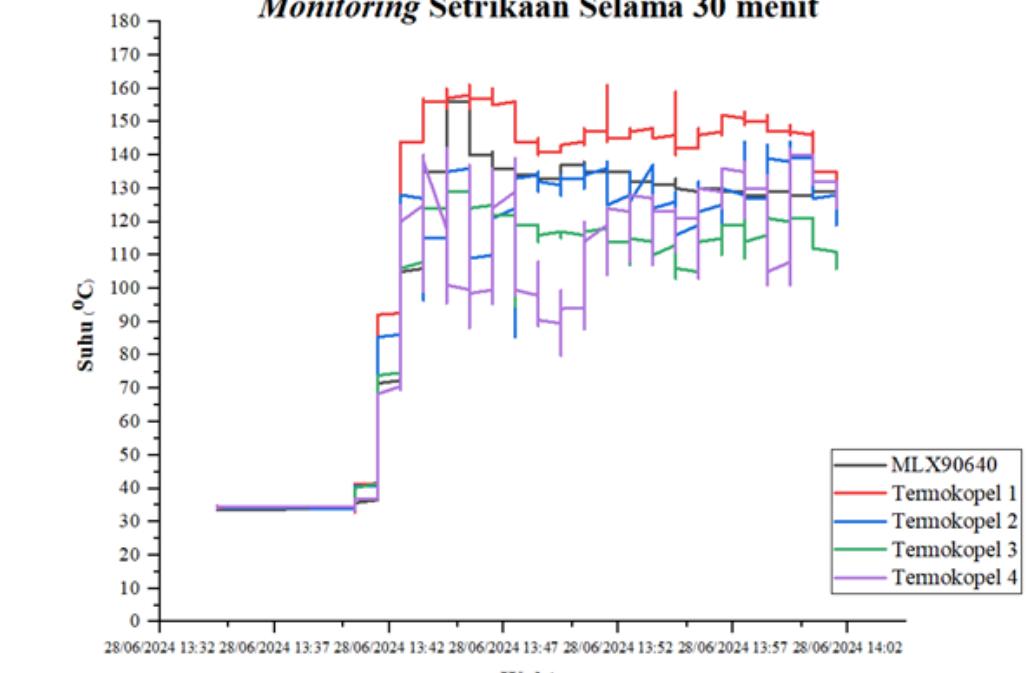


Grafik monitoring pada dashboard

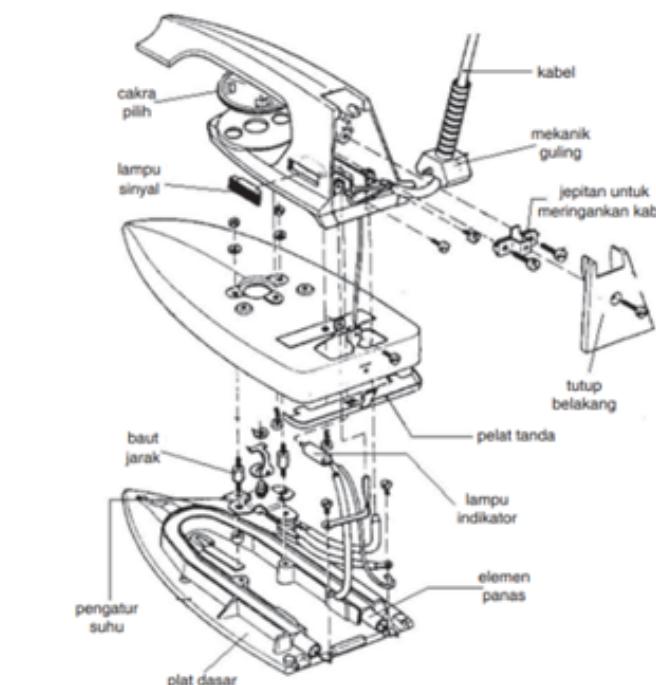
Setrika



Dokumentasi



Grafik monitoring



Struktur setrika
(Agustio, 2023)

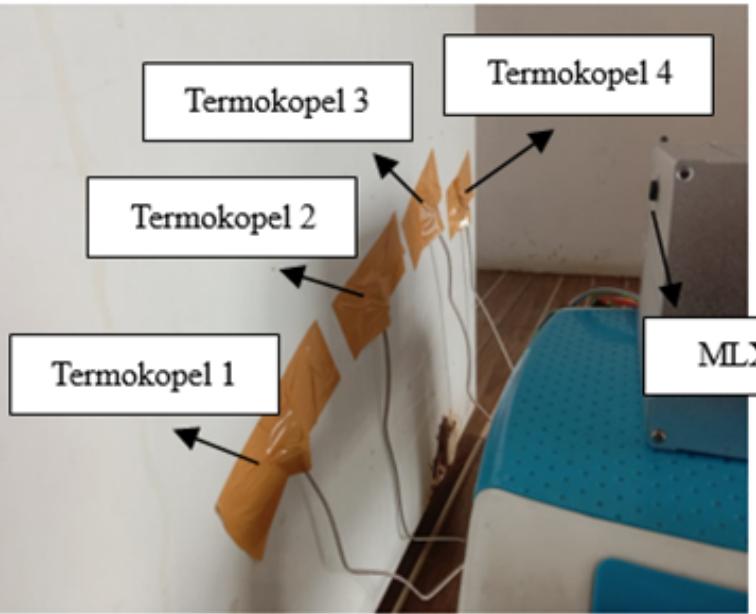


Grafik monitoring pada dashboard

Pengujian Seluruh Sensor

Pengujian 1 jam

Freezer



Dokumentasi

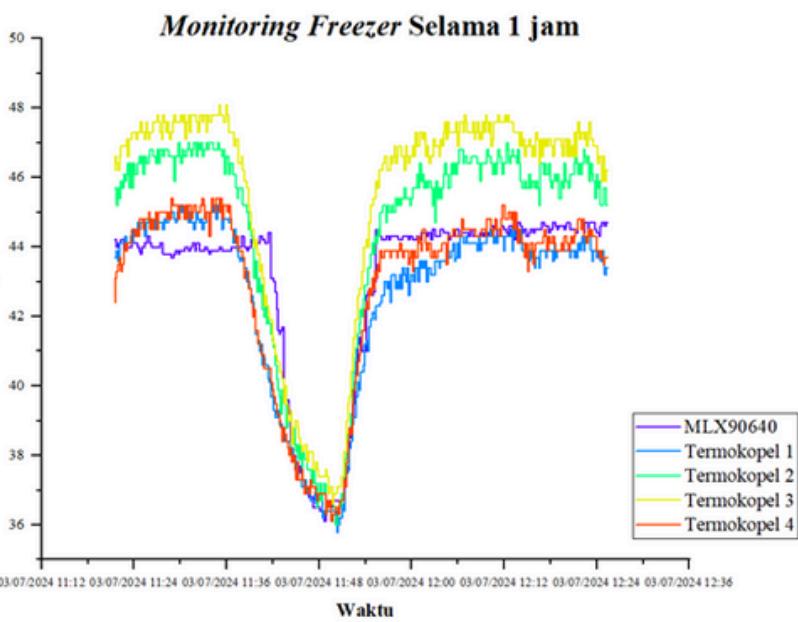


Grafik monitoring pada dashboard

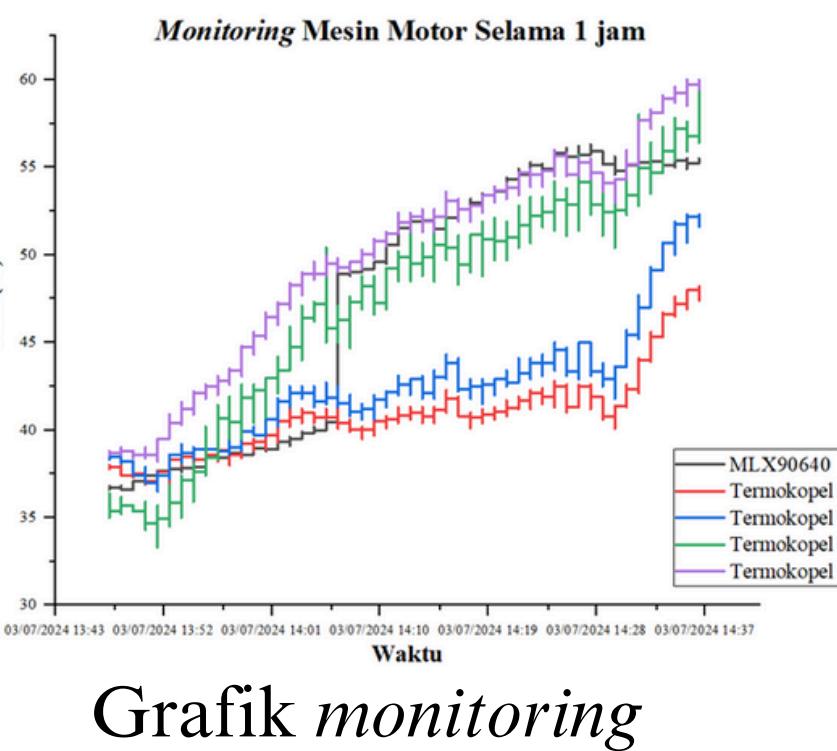
Motor



Dokumentasi



Grafik monitoring



Grafik monitoring

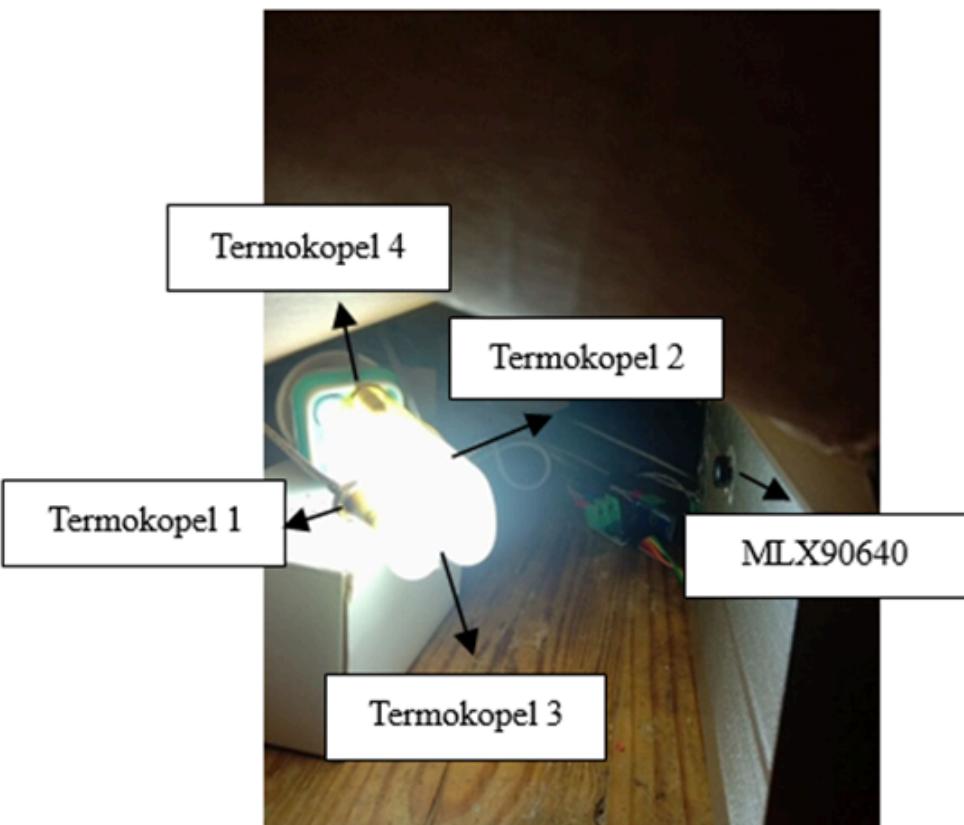


Grafik monitoring pada dashboard

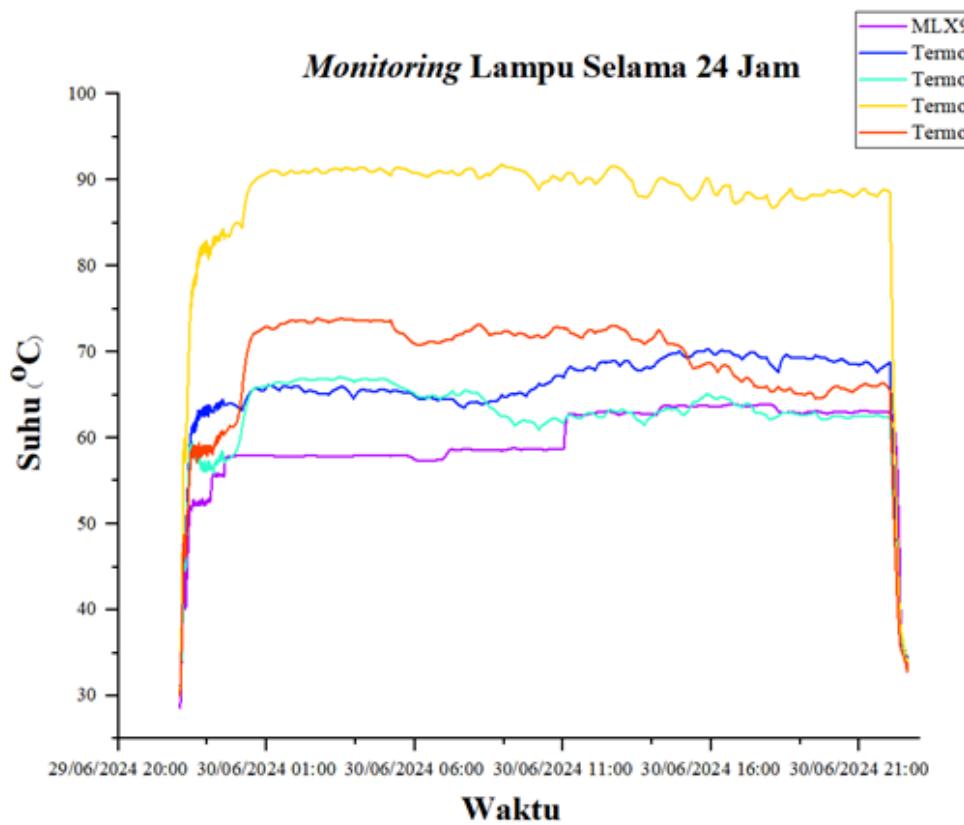
Pengujian Seluruh Sensor

Pengujian >1 jam

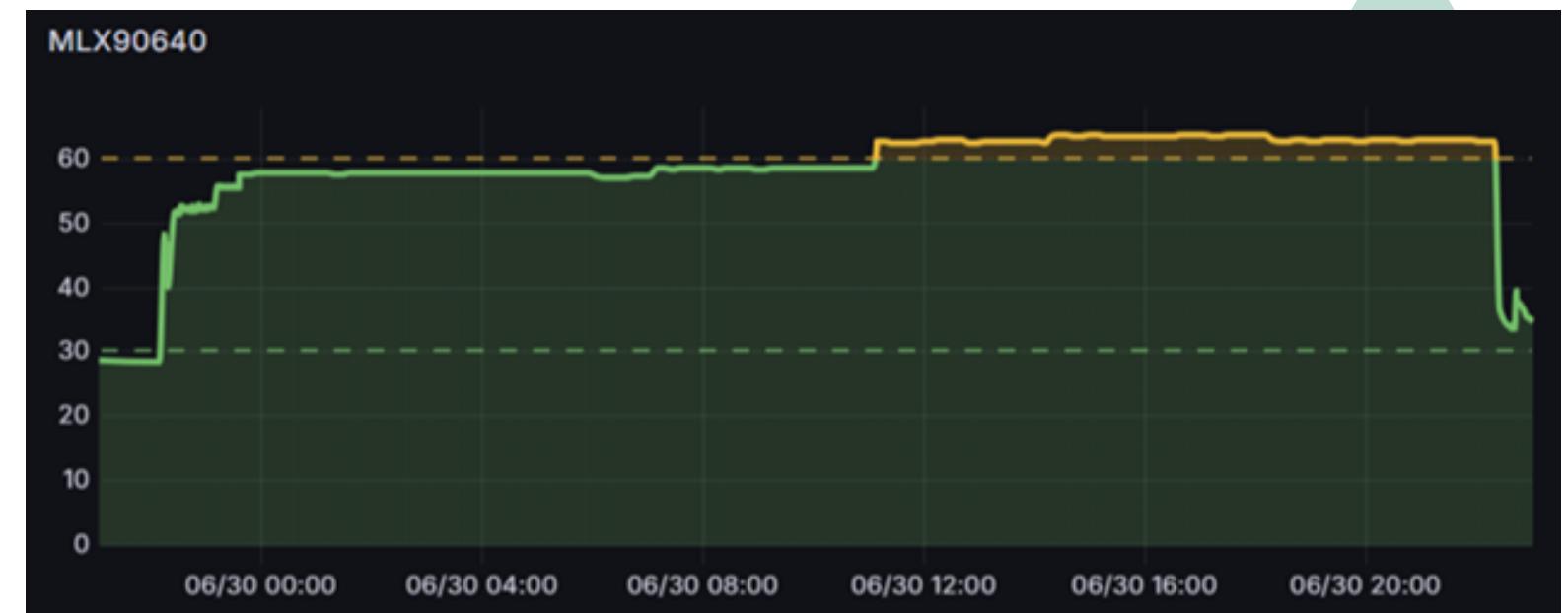
Lampu 20 watt selama 24 jam



Dokumentasi



Grafik *monitoring*



Grafik *monitoring* pada *dashboard*



BAB IV

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan
Saran



Kesimpulan

1. Telah dikembangkan sistem monitoring termal berbasis IoT menggunakan sensor kamera termal MLX90640 dan termokopel tipe-K dengan modul MAX6675. Sistem ini dikendalikan oleh Raspberry Pi 4B+ dan dilengkapi layar TFT HDMI 5 inci untuk antarmuka visual. Kamera termal MLX90640 optimal pada jarak 15 cm dengan akurasi 96,6%, sedangkan termokopel tipe-K harus menempel pada objek dengan akurasi 97,36%.
2. Penelitian menunjukkan bahwa sensor kamera termal MLX90640 dan empat sensor termokopel tipe-K dengan modul MAX6675 dapat digunakan secara bersamaan pada pengujian dengan panggangan listrik. Namun, penggunaan simultan ini menghasilkan nilai relatif error sebesar 1,29% untuk kamera termal MLX90640, 1,83% untuk termokopel 1, 0,9% untuk termokopel 2, 1,04% untuk termokopel 3, dan 1,9% untuk termokopel 4. Hal ini menyimpulkan bahwa penggunaan bersama sensor ini menurunkan tingkat akurasi keseluruhan.
3. Website sistem monitoring termal berhasil dibuat dengan tiga menu utama yaitu, Home, About Us, dan Monitoring. Menu Home dan About Us menggunakan platform Weebly, sedangkan menu Monitoring terhubung langsung dengan dashboard Grafana. Sistem ini menggunakan MQTT sebagai komunikasi real-time antar perangkat, dengan data suhu dari Raspberry Pi 4B+ dikirim ke server. Node-RED mengatur alur data dan komunikasi, InfluxDB sebagai tempat untuk menyimpan data, dan Grafana menampilkan informasi suhu dalam grafik interaktif yang mudah dipahami.

Saran

1. Pada penelitian ini, pengambilan data dilakukan setiap 8 menit sekali selama 24 jam. Hal ini mengakibatkan keterbatasan dalam mendapatkan data real-time. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengganti sensor atau menggunakan protokol komunikasi I2C. Protokol ini diharapkan dapat mempercepat waktu pengambilan data hingga hitungan detik, sehingga data yang diperoleh lebih real-time dan akurat.
2. Pengukuran suhu dalam penelitian ini hanya mencakup Tmax, Tmin, dan FPS. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk memperbarui sistem pengukuran agar dapat memberikan data suhu yang lebih detail dan komprehensif. Dengan peningkatan ini, pemetaan suhu yang lebih rinci dapat dilakukan sehingga memungkinkan analisis yang lebih mendalam di setiap titik pada objek yang dipantau.
3. Untuk memastikan keandalan sistem dalam lingkungan industri yang memiliki suhu tinggi, disarankan melakukan pengujian dengan suhu ekstrem atau di atas 200°C. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui batas maksimal kemampuan sensor dalam mengukur suhu tinggi, serta memastikan sensor berfungsi dengan baik dalam kondisi ekstrem yang umum ditemukan di lingkungan industri.
4. Penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengembangkan dashboard IoT yang memungkinkan pengguna untuk melihat citra termal. Peningkatan ini akan meningkatkan fungsionalitas dan kemudahan penggunaan dashboard IoT dalam mengelola dan menganalisis data suhu yang diperoleh, sehingga pengguna dapat dengan mudah memantau dan memahami kondisi termal objek yang dipantau

Daftar Pustaka



- Acer. (2022). Berapa Suhu Normal Laptop? <https://www.acerid.com/predator/suhu-normal-laptop-gaming>
- Adani, F., & Salsabil, S. (2016). Internet of Things Archives | Internet of Things. Cisco, 2019(July 2016), 1–45. <https://www.gsma.com/iot/search/internet-of-things/>
- Atika, N. (2022). PERANCANGAN SISTEM PERAWATAN BERDASARKAN KONDISI PADA MESIN PERKAKAS BUBUT BEMATO DI LABORATORIUM MEKANIK POLMAN BABEL.
- Auto2000. (2022). 5 Cara Membuat Mesin Mobil Tetap “Dingin” Saat Dikendarai. <https://auto2000.co.id/berita-dan-tips/cara-membuat-mesin-mobil-tetap-dingin#>
- California Coastal Commission. (2018). Chapter 1 Fundamentals of Infrared Thermal Imaging. An Automated Irrigation System Using Arduino Microcontroller, 1967, 2–6.
- Darwis, M. (2021). Teknik Interpolasi Bikubik untuk Memperbesar Gambar Hasil Pemetaan Suhu dari Sensor MLX90640 pada Praktikum Mikrokontroller. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 3(1), 36–46. <https://doi.org/10.14710/jplp.3.1.36-46>
- Faizal & Putri, L. (2018). Bab II Landasan Teori. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 8–24
- Foken, T., & Bange, J. (2005). Temperature Sensors. Springer Handbooks, 183–208. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52171-4_7
- Gamma, A. S. (n.d.). Radio isotop
- Halliday. (2013). Fundamentals Of Physics.
- Hidayah, N. Y., & Ahmadi, N. (2017). Analisis Pemeliharaan Mesin Blowmould Dengan Metode RCM Di PT. CCAI. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 16(2), 167. <https://doi.org/10.25077/josi.v16.n2.p167-176.2017>
- Hou, F., Zhang, Y., Zhou, Y., Zhang, M., Lv, B., & Wu, J. (2022). Review on Infrared Imaging Technology. *Sustainability (Switzerland)*, 14(18). <https://doi.org/10.3390/su141811161>
- Hyundai. (2022). Temperatur Mesin Mobil. <https://hyundaimobil.co.id/news/details/temperatur-mesin-tidak-normal-cek-3-komponen-ini#:~:text=Tetapi%2C rata-rata mobil beroperasi,menandakan temperatur operasional yang tepat>.
- Irawati, E., Huda, C., & Kurniawan, W. (2019). Pengembangan Alat Peraga Perpindahan Kalor secara Konduksi, Konveksi, dan Radiasi dalam Satu Set Alat berbasis Digital. *The 5th Lontar Physics Forum 2019*, 86–91. <http://conference.upgris.ac.id/index.php/lpf/article/view/624/372>
- Jati, I. S., & Rivai, M. (2020). Implementasi Thermal Camera pada Pengaturan Pendingin Ruangan. *Jurnal Teknik ITS*, 8(2), 1–6. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v8i2.43131>
- Jo, Y. H., Lee, C. H., & Yoo, J. H. (2013). Study on Applicability of Passive Infrared Thermography Analysis for Blistering Detection of Stone Cultural Heritage. *Journal of the Korean Conservation Science for Cultural Properties*, 29(1), 55–67. <https://doi.org/10.12654/jcs.2013.29.1.06>
- Kosanke, R. M. (2019). Presisi dan Akurasi. 7–33.
- Rapsberry. (2020). What is a Raspberry Pi. <https://www.raspberrypi.org/help/what-is-a-raspberry-pi/#:~:text=The Raspberry Pi is a,languages>
- S Siahaan. (2016). Proses Perpindahan Kalor. Universitas Medan, 26. http://repository.uma.ac.id/bitstream/123456789/121/2/11.813.0021_file5.pdf
- Satriyo, S. (2021). Analisis dan Evaluasi Kamera Thermal Untuk Pengukuran Suhu Badan. *Jurnal ELIT*, 2(2), 13–20. <https://doi.org/10.31573/elit.v2i2.268>
- Singgih, A. C., Rostianingsih, S., & Lim, R. (2022). Implementasi Kamera Thermal pada Raspberry pi 3 untuk Pemantauan Suhu Mahasiswa Universitas Kristen Petra. *Jurnal Infra*. <https://publication.petra.ac.id/index.php/teknik-informatika/article/view/12022%0Ahttps://publication.petra.ac.id/index.php/teknik-informatika/article/viewFile/12022/10557>
- Singh, R. P., Dubey, C. S., Singh, S. K., Shukla, D. P., Mishra, B. K., Tajbakhsh, M., Ningthoujam, P. S., Sharma, M., & Singh, N. (2013). A new slope mass rating in mountainous terrain, Jammu and Kashmir Himalayas: Application of geophysical technique in slope stability studies. *Landslides*, 10(3), 255–265. <https://doi.org/10.1007/s10346-012-0323-y>
- Stuart, B. H. (2005). Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications. In *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. <https://doi.org/10.1002/0470011149>
- Syasti, Khairul (2024). Sistem Monitoring Suhu Pada Mesin Incinerator Berbasis IoT *e-Proceeding of Engineering* : Vol.11, No.1
- Suzuki. (2021). Cara Kerja & Jenis Sistem Pendingin Sepeda Motor. <https://www.suzuki.co.id/news/cara-kerja-jenis-sistem-pendingin-sepeda-motor#:~:text=Mempertahankan Temperatur Mesin,kerja mesin motor lebih maksimal>
- Van Herwaarden, S. (1996). Physical principles of thermal sensors. *Sensors and Materials*, 8(6), 373–387.

Terima Kasih

