pISSN : 0852-0232, eISSN : 2656-582X DOI : 10.14710/gt.v21i3.xxxxx

RANCANG BANGUN SISTEM DETEKSI DINI TITIK PANAS DAN PROTEKSI OTOMATIS PADA PHB-TR MENGGUNAKAN SENSOR INFRAMERAH MLX90614 BERBASIS IOT

Fenty Nurhaliza[1)], Yuniarto[2)]
[1)]Program Studi Str. Teknik Listrik Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
*)E-mail : yuniartostmt@gmail.com

ABSTRACT

A rise in temperature at the PHB-TR connection terminals due to loose connections can cause hotspots, which have the potential to disrupt and damage the electrical power distribution system. Therefore, this study aims to design and build a prototype system for the early detection of hotspots and automatic protection of PHB-TRs using an IoT-based MLX90614 infrared sensor. The system is designed using the MLX90614 sensor as a non-contact temperature detector, the ESP32 as the main controller, an LCD for local monitoring, MQTT-based web monitoring for remote monitoring, and a Telegram Bot for notifications. The system can display temperature conditions categorized as normal, warning, and danger, and perform automatic protection by tripping the load when the temperature reaches the danger level. Test results show that the system operates according to the design logic, with an optimal sensor measurement distance of 2 cm, an average sensor calibration error of 1.55%, and an average Telegram Bot notification delay of 1.33 seconds. In addition, the reset feature and safety interlock mechanism also functioned properly, allowing the system to resume operation once the temperature returned to normal. Based on these test results, the designed prototype successfully performed its functions of monitoring, early detection, notification, and automatic protection.

Keywords: *PHB-TR, MLX90614, early detection, automatic protection, MQTT, Telegram Bot, IoT.*

PENDAHULUAN

Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) berperan penting dalam sistem distribusi tenaga listrik sebagai pusat pembagian daya ke berbagai beban. Salah satu permasalahan yang sering terjadi pada PHB-TR adalah kenaikan suhu pada terminal akibat sambungan yang kurang baik, ketidakseimbangan beban, maupun arus lebih. Kondisi tersebut dapat menimbulkan titik panas (*hotspot*) yang berpotensi menyebabkan kerusakan peralatan dan kebakaran apabila tidak terdeteksi sejak dini.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan proses pemantauan kondisi peralatan dilakukan secara real-time dan jarak jauh melalui jaringan internet. Implementasi sensor suhu non-kontak MLX90614 memberikan keuntungan karena mampu melakukan pengukuran suhu tanpa menyentuh objek yang diamati sehingga lebih aman untuk diterapkan pada peralatan kelistrikan.

Beberapa penelitian sebelumnya telah memanfaatkan sensor MLX90614 untuk sistem monitoring suhu berbasis mikrokontroler dan IoT dengan tingkat akurasi yang baik. Albianto (2021) telah mengembangkan sistem monitoring suhu busbar PHB-TR menggunakan sensor MLX90614 berbasis IoT, namun sistem tersebut masih terbatas pada fungsi monitoring dan notifikasi. Marbun dan Sukardi (2024) mengembangkan sistem peringatan kerusakan panel listrik yang mampu melakukan proteksi otomatis, tetapi pengukuran suhu dilakukan terhadap udara panel sehingga tidak secara spesifik mendeteksi titik panas pada terminal listrik. Sementara itu, Urbach dan Wildian (2019) menunjukkan bahwa sensor MLX90614 memiliki tingkat akurasi tinggi untuk pengukuran suhu non-kontak.

Berdasarkan penelitian terdahulu, masih terdapat keterbatasan pada integrasi antara deteksi titik panas, monitoring IoT, proteksi otomatis, dan sistem keamanan pasca-trip. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sistem deteksi dini titik panas pada terminal PHB-TR menggunakan sensor MLX90614 yang terintegrasi dengan *monitoring* berbasis MQTT, notifikasi Telegram, proteksi otomatis menggunakan kontaktor magnetik, serta logika *safety interlock* untuk meningkatkan keselamatan operasional.

METODE PENELITIAN

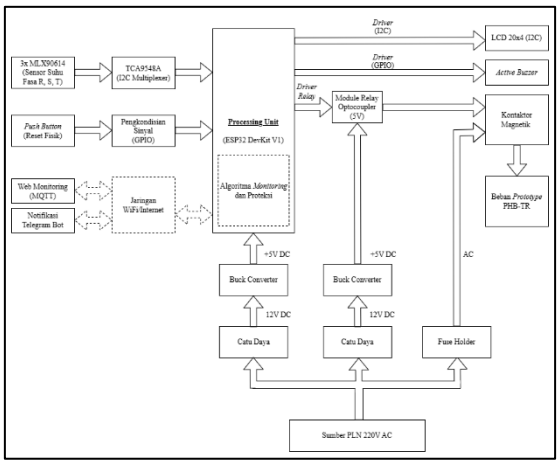
1. Perancangan Sistem

Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun yang meliputi tahap perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, implementasi sistem, dan pengujian kinerja. Sistem dirancang untuk mendeteksi kenaikan suhu pada terminal Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) secara *real-time* menggunakan sensor inframerah MLX90614. Data suhu yang diperoleh diproses oleh mikrokontroler ESP32 dan ditampilkan pada LCD serta dashboard monitoring berbasis MQTT. Selain itu, sistem dilengkapi notifikasi Telegram dan proteksi otomatis menggunakan relay yang mengendalikan kontaktor magnetik.

Sistem membagi kondisi suhu menjadi tiga kategori, yaitu kondisi normal ($T < 40°C$), peringatan ($40°C \leq T < 55°C$), dan bahaya ($T \geq 55°C$). Pada kondisi peringatan, sistem mengirimkan notifikasi peringatan kepada pengguna. Apabila suhu mencapai kondisi bahaya, sistem akan melakukan pemutusan beban secara otomatis dan mengaktifkan fitur *safety interlock* untuk mencegah penyalaan beban kembali sebelum dilakukan reset manual.

2. Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem ditunjukkan pada Gambar 1.



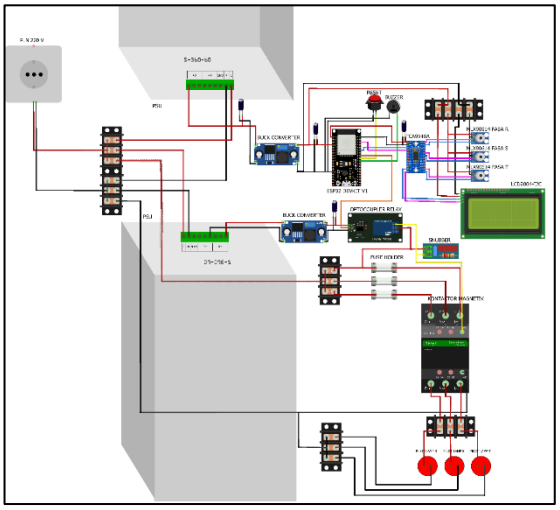
Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem ditunjukkan pada Gambar 1. Sistem terdiri dari tiga sensor inframerah MLX90614 yang dipasang pada terminal fasa R, S, dan T untuk mendeteksi suhu secara non-kontak. Karena ketiga sensor menggunakan alamat I2C yang sama, digunakan modul TCA9548A sebagai I2C multiplexer untuk mengatur komunikasi sensor dengan mikrokontroler ESP32 DevKit V1.

ESP32 berfungsi sebagai pusat pemrosesan data yang menjalankan algoritma monitoring dan proteksi. Data suhu yang diperoleh ditampilkan pada LCD 20×4 sebagai *monitoring* lokal dan dikirimkan ke web *monitoring* melalui protokol MQTT menggunakan jaringan internet. Selain itu, sistem mengirimkan notifikasi kondisi suhu melalui Telegram Bot. Sebagai sistem proteksi, ESP32 mengendalikan modul relay optocoupler yang terhubung dengan kontaktor magnetik untuk memutus suplai beban PHB-TR ketika suhu mencapai batas bahaya. Sistem juga dilengkapi buzzer sebagai alarm lokal dan tombol reset untuk mengaktifkan kembali sistem setelah kondisi gangguan berhasil ditangani.

3. Rangkaian Keseluruhan Sistem

Skematik rangkaian keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Keseluruhan Sistem

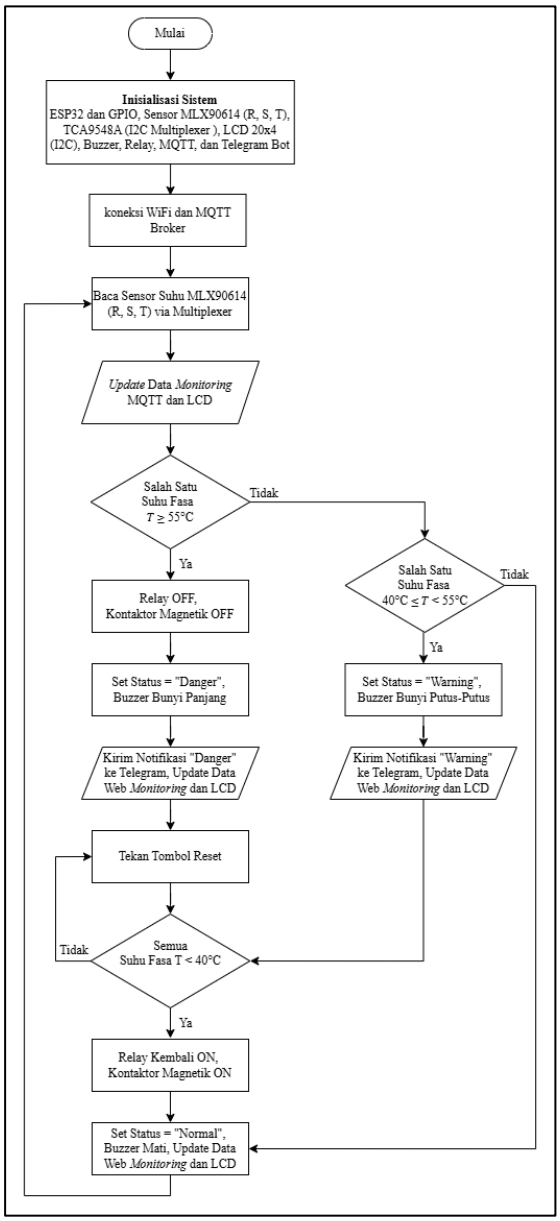
Sumber tegangan PLN 220 VAC digunakan untuk mensuplai catu daya sistem dan rangkaian proteksi. Tegangan keluaran catu daya kemudian diturunkan menggunakan buck converter menjadi 5 VDC untuk mensuplai ESP32, modul relay, sensor, dan perangkat pendukung lainnya.

ESP32 terhubung dengan sensor MLX90614 melalui modul TCA9548A menggunakan komunikasi I2C. Selain itu, ESP32 terhubung dengan LCD, buzzer, relay optocoupler, dan tombol reset melalui pin GPIO. Relay optocoupler digunakan sebagai antarmuka kendali kontaktor magnetik yang berfungsi menghubungkan atau memutus suplai daya ke beban simulasi PHB-TR.

Untuk meningkatkan keandalan sistem, dipasang fuse holder sebagai proteksi hubung singkat serta rangkaian snubber untuk meredam lonjakan tegangan induksi pada kumparan kontaktor.

4. Flowchart Sistem

Flowchart sistem ditunjukkan pada Gambar 3. Proses diawali dengan inisialisasi seluruh perangkat, meliputi ESP32, sensor MLX90614, multiplexer TCA9548A, LCD, relay, MQTT, dan Telegram Bot. Setelah sistem berhasil terhubung ke jaringan WiFi dan broker MQTT, ESP32 melakukan pembacaan suhu secara berkala pada ketiga fasa melalui sensor MLX90614.



Gambar 2. Flowchart Sistem

Data suhu ditampilkan pada LCD dan dikirim ke web monitoring secara real-time. Jika suhu berada pada rentang 40°C ≤ T < 55°C, sistem memberikan status peringatan (*warning*), mengaktifkan buzzer, dan mengirim notifikasi Telegram. Jika suhu mencapai $T \geq 55$°C, sistem masuk status bahaya (*danger*), mengirim notifikasi bahaya, serta memutus beban melalui *relay* dan kontaktor. Setelah proteksi aktif, sistem memasuki kondisi safety interlock dan hanya dapat beroperasi kembali setelah tombol reset ditekan serta suhu seluruh fasa berada di bawah 40°C. Selanjutnya, sistem kembali ke kondisi normal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengujian Jarak Optimal Sensor MLX90614

Pengujian dilakukan untuk menentukan jarak optimal pembacaan sensor terhadap objek pengukuran.

Tabel 1. Pengujian Jarak Optimal Sensor MLX90614

No.	Jarak (cm)	Suhu Sensor (°C)	Suhu Referensi (°C)	Selisih (°C)	*Error* (%)
1	2	32,1	32,5	0,4	1,25%
2	4	32	32,8	0,8	2,50%
3	6	31,8	32,8	1	3,14%
4	8	31,8	32,9	1,1	3,46%
5	10	31,7	33	1,3	4,10%
6	12	32	33,5	1,5	4,69%

Hasil menunjukkan bahwa semakin jauh jarak sensor terhadap objek, semakin besar nilai error yang dihasilkan. Jarak optimal diperoleh pada 2 cm dengan error terkecil sebesar 1,25%.

2. Pengujian Kalibrasi Sensor MLX90614

Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat referensi berupa *thermogun*.

Tabel 2. Pengujian Kalibrasi Sensor MLX90614

No.	Fasa	Suhu Sensor (°C)	Suhu Referensi (°C)	Selisih (°C)	*Error* (%)
1	R	36	36,5	0,5	1,37%
2	S	35,1	36	0,9	2,50%
3	T	34,4	34,9	0,5	1,43%
4	R	35,1	35,6	0,5	1,40%
5	S	35,1	35,8	0,7	1,96%
6	T	34,4	34,5	0,1	0,29%
7	R	34,8	35,4	0,6	1,69%
8	S	34,5	35,5	1	2,82%
9	T	34,1	34,5	0,4	1,16%

No.	Fasa	Suhu Sensor (°C)	Suhu Referensi (°C)	Selisih (°C)	*Error* (%)
10	R	34,8	35,4	0,6	1,69%
11	S	34,8	35,4	0,6	1,69%
12	T	33,8	34	0,2	0,59%
Rata-Rata *Error*					1,55%

Nilai rata-rata error sebesar 1,55% menunjukkan bahwa sensor MLX90614 memiliki tingkat akurasi yang baik untuk mendeteksi kenaikan suhu pada terminal PHB-TR.

3. Pengujian *Delay* Sistem Proteksi dan Notifikasi IoT

Pengujian dilakukan dengan mengukur waktu yang dibutuhkan sistem untuk mengirimkan notifikasi setelah kondisi proteksi terjadi.

Tabel 3. Pengujian *Delay* Sistem Proteksi dan Notifikasi IoT

No.	Fasa	Suhu Sensor (°C)	t_{trip} (s)	$t_{notifikasi\ Telegram}$ (s)	t_{delay} (s)
1	R	57,9	11.18.05	11.18.06	1
2	S	60,9	11.32.34	11.32.36	2
3	T	70,9	12.33.32	12.33.33	1
Rata-Rata *Delay* (s)					1,33

Hasil menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan informasi gangguan kepada pengguna secara cepat dengan delay rata-rata 1,33 detik.

4. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Tabel 4. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Kondisi	Status Trip	LCD	Web	Telegram	Keterangan
Normal	OFF	✓	✓	–	Berhasil
Warning	OFF	✓	✓	✓	Berhasil
Danger	ON	✓	✓	✓	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian, seluruh fungsi sistem berjalan sesuai dengan rancangan. Data suhu berhasil ditampilkan pada LCD dan dashboard MQTT secara real-time. Telegram Bot mampu mengirimkan notifikasi pada kondisi *warning* dan *danger*, sedangkan *relay* berhasil memutus suplai beban secara otomatis saat suhu mencapai batas bahaya. Selain itu, fitur *safety interlock* mampu mencegah sistem aktif kembali sebelum dilakukan reset manual setelah suhu kembali normal.

KESIMPULAN

1. Sistem mampu melakukan *monitoring* suhu pada masing-masing fasa dan menampilkan kondisi suhu dalam kategori normal, warning, ataupun danger melalui LCD dan web monitoring sesuai dengan threshold yang telah ditentukan.
2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor MLX90614 mampu bekerja dengan baik dengan rata-rata error sebesar 1,55% dan memiliki jarak pengukuran optimal pada jarak 2 cm, sehingga masih berada dalam batas toleransi untuk kebutuhan monitoring suhu pada prototype sistem yang dirancang.
3. Pada kondisi *warning*, sistem berhasil memberikan peringatan melalui buzzer, web *monitoring*, dan Telegram Bot tanpa melakukan trip. Sedangkan pada kondisi *danger*, sistem berhasil mengaktifkan proteksi otomatis berupa pemutusan beban (trip) serta mengirimkan notifikasi kepada pengguna dengan rata-rata delay sebesar 1,33 detik.
4. Fitur reset dan mekanisme *safety interlock* berhasil bekerja sesuai dengan logika perancangan, di mana sistem hanya dapat kembali beroperasi setelah suhu kembali berada pada kondisi normal.

SARAN

1. Sistem dapat ditambahkan fitur penyimpanan data (*data logging*) sehingga riwayat suhu dan kondisi proteksi dapat tersimpan secara otomatis untuk kebutuhan analisis lebih lanjut.
2. Sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan parameter kelistrikan lainnya seperti arus dan tegangan sehingga sistem monitoring dan proteksi menjadi lebih lengkap dan terintegrasi.
3. Sistem komunikasi data dapat dikembangkan menggunakan teknologi komunikasi jarak jauh seperti LoRa agar sistem monitoring dan notifikasi tetap dapat berjalan pada area dengan keterbatasan internet.

DAFTAR PUSTAKA

1. Zuhal. Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 2000.
2. Komarudin, Achmad Desain dan Analisis Proporsional Kontrol *buck boost converter* Pada sistem photovoltaik. Program Studi Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Malang, 2017.