

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Relevan

Pada penelitian ini penulis melakukan tinjauan literatur pada beberapa penelitian yang relevan untuk dijadikan referensi. Referensi dapat berasal dari jurna, artikel, skripsi, atau buku yang relevan. Beberapa referensi yang penulis dapatkan sebagai berikut :

1. Penelitian yang dilakukan oleh A. P. Putra, A. Munawir, dan F. Jayadi (2023) dengan judul *“Pemeliharaan Coal Feeder Terhadap Kinerja Pembangkit Listrik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Nagan Raya 2x110 MW”* membahas tentang pengaruh kegiatan pemeliharaan terhadap kinerja sistem *coal feeder* pada PLTU. Dalam penelitian tersebut dijelaskan bahwa *coal feeder* merupakan salah satu komponen vital yang berfungsi menyalurkan batubara ke ruang bakar (*furnace*), sehingga keandalan sistem ini sangat memengaruhi stabilitas dan efisiensi pembangkit. Peneliti menekankan pentingnya jadwal pemeliharaan rutin serta tindakan perbaikan yang tepat untuk mencegah gangguan operasi dan menjaga performa optimal unit pembangkit. Penelitian ini menjadi referensi penting karena memberikan gambaran nyata tentang bagaimana aktivitas pemeliharaan berdampak langsung terhadap efisiensi dan kontinuitas produksi energi listrik. Perbedaannya dengan penelitian yang dilakukan saat ini terletak pada fokus kajian; penelitian Putra dkk. menitikberatkan pada aspek pemeliharaan mekanis komponen *coal feeder*, sedangkan penelitian ini lebih berfokus pada penerapan sistem kendali otomatis berbasis Programmable Logic Controller (PLC) untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan proses pada PLTU secara keseluruhan.

2. Penelitian yang dilakukan oleh *A. Nugraha dan N. Gusti Pahiyanti (2023)* dengan judul “*Sistem Kendali dan Proteksi Coal Feeder pada Unit 1–4 PLN Indonesia Power UBP Suralaya*” membahas tentang perancangan dan penerapan sistem kendali serta proteksi pada *coal feeder* di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Suralaya. Penelitian ini berfokus pada bagaimana sistem kendali mengatur aliran batubara menuju *boiler* serta bagaimana sistem proteksi bekerja untuk mencegah kerusakan akibat *overload*, kemacetan, atau kegagalan komponen. Penulis menekankan bahwa integrasi yang baik antara sistem kendali dan sistem proteksi memiliki peran penting dalam menjaga kestabilan pasokan batubara, mencegah gangguan operasional, dan mempertahankan kinerja pembangkit secara keseluruhan. Penelitian ini menjadi referensi yang relevan karena memberikan gambaran menyeluruh mengenai penerapan strategi kendali dan proteksi pada komponen vital PLTU. Perbedaan dengan penelitian yang dilakukan saat ini terletak pada fokus dan cakupan pembahasan; penelitian oleh *Nugraha dan Pahiyanti* menitikberatkan pada sistem kendali dan proteksi khusus untuk *coal feeder*, sedangkan penelitian ini berfokus pada penerapan *Programmable Logic Controller (PLC)* untuk otomasi dan *monitoring* yang lebih luas pada berbagai subsistem di PLTU guna meningkatkan keandalan dan efisiensi operasional.
3. Penelitian yang dilakukan oleh *A. Thoriqul Hakim, Z. Arifin, dan A. Faidlon* dengan judul “*Review Sistem Kendali Mesin Coal Feeder Model EG2610 di PLTU Tanjung Jati B Jepara (Studi Kasus PT. Metro Mandala Persada)*” membahas tentang analisis sistem kendali pada mesin *coal feeder* tipe EG2610 yang digunakan di PLTU Tanjung Jati B Jepara. Penelitian ini meninjau bagaimana sistem kendali tersebut bekerja dalam mengatur suplai batubara ke *boiler* secara stabil dan efisien, serta mengevaluasi keandalan dan performa kontrolnya berdasarkan kondisi operasional di lapangan. Peneliti juga mengidentifikasi potensi permasalahan pada sistem kendali yang ada, seperti keterlambatan respon dan ketidakstabilan suplai batubara, serta memberikan

rekomendasi perbaikan untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan operasi *coal feeder*. Penelitian ini menjadi referensi yang relevan karena memberikan pemahaman teknis yang mendalam mengenai penerapan sistem kendali pada peralatan penting di PLTU. Perbedaannya dengan penelitian yang dilakukan saat ini adalah pada fokus kajian; penelitian *Hakim, Arifin, dan Faidlon* berfokus pada *review* dan evaluasi sistem kendali mesin *coal feeder* tertentu, sedangkan penelitian ini menitikberatkan pada pengembangan dan penerapan *Programmable Logic Controller (PLC)* sebagai sistem otomasi terpadu untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, dan kemampuan *monitoring* di berbagai subsistem PLTU.

4. Penelitian yang dilakukan oleh *M. Artiyasa et al.* dengan judul “*Sistem Monitoring dan Kontrol Katup Pendingin terhadap Temperatur Air Outfall PLTU*” membahas tentang perancangan dan penerapan sistem *monitoring* serta *control valve* untuk mengatur temperatur air *outfall* pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Penelitian ini menjelaskan bagaimana sistem kendali otomatis digunakan untuk memantau dan menyesuaikan bukaan katup pendingin agar suhu air buangan tetap berada dalam batas aman yang telah ditetapkan oleh standar lingkungan. Sistem tersebut dirancang menggunakan sensor suhu dan dikendalikan secara real-time untuk menjaga efisiensi proses pendinginan serta mencegah potensi dampak lingkungan akibat kenaikan temperatur air buangan. Penelitian ini menjadi referensi yang relevan karena menunjukkan penerapan nyata sistem otomasi dan *monitoring* berbasis kendali yang berperan penting dalam menjaga stabilitas operasi dan efisiensi PLTU. Perbedaannya dengan penelitian yang dilakukan saat ini terletak pada objek dan lingkup sistem; penelitian *Artiyasa et al.* berfokus pada sistem pendinginan dan pengendalian temperatur air *outfall*, sedangkan penelitian ini berfokus pada penerapan *Programmable Logic Controller (PLC)* sebagai sistem kendali dan *monitoring* terpadu yang mencakup berbagai subsistem PLTU, termasuk

pengaturan proses pembakaran, distribusi energi, dan efisiensi operasional pembangkit.

5. Penelitian yang dilakukan oleh *M. Zainal (2021)* dengan judul “*Perancangan Sistem Monitoring dan Pengendalian Suhu pada Ruang Server PLTU Punagaya Berbasis Web Menggunakan Raspberry Pi*” membahas tentang pengembangan sistem *monitoring* dan pengendalian suhu secara otomatis di ruang server PLTU Punagaya dengan memanfaatkan platform *Raspberry Pi* yang terintegrasi melalui antarmuka *web*. Sistem ini dirancang untuk memantau suhu ruangan secara real-time menggunakan sensor suhu digital, kemudian mengendalikan kipas atau pendingin secara otomatis ketika suhu melebihi batas yang ditentukan. Melalui antarmuka berbasis web, pengguna dapat melakukan pengawasan jarak jauh serta menerima notifikasi kondisi suhu secara langsung. Penelitian ini menjadi referensi yang relevan karena menunjukkan penerapan teknologi *Internet of Things (IoT)* dan otomasi dalam meningkatkan efisiensi pengawasan serta pengendalian sistem di lingkungan pembangkit listrik. Perbedaannya dengan penelitian yang dilakukan saat ini terletak pada fokus dan lingkup aplikasi; penelitian *Zainal* menitikberatkan pada sistem *monitoring* suhu ruang server menggunakan *Raspberry Pi*, sedangkan penelitian ini berfokus pada penerapan *Programmable Logic Controller (PLC)* untuk otomasi dan *monitoring* terpadu pada sistem utama PLTU, seperti pengendalian proses, sistem bahan bakar, dan efisiensi operasi pembangkit.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang bekerja dengan prinsip mengubah energi kimia batubara menjadi energi listrik melalui beberapa tahapan konversi energi. Pada sistem ini, batubara digunakan sebagai bahan bakar utama yang dibakar di dalam *boiler* untuk menghasilkan energi panas. Panas yang dihasilkan kemudian digunakan untuk memanaskan air di dalam *boiler drum* hingga berubah menjadi

uap bertekanan dan bertemperatur tinggi. Uap tersebut selanjutnya dialirkan ke turbin uap untuk memutar poros turbin yang terhubung langsung dengan generator listrik. Energi mekanik dari putaran turbin kemudian dikonversi menjadi energi listrik melalui proses induksi elektromagnetik di generator. Setelah melewati turbin, uap akan dikondensasikan kembali menjadi air menggunakan kondensor, dan selanjutnya air hasil kondensasi dipompa kembali ke boiler untuk digunakan ulang, membentuk suatu siklus tertutup yang dikenal sebagai Siklus Rankine.[7]



Gambar 2. 1 PLTU IP UBP Barru 1x100 MW

(Sumber : Pribadi, Oktober 2025)

Dalam sistem PLTU, terdapat beberapa peralatan pendukung penting yang berfungsi menjaga kestabilan dan efisiensi proses konversi energi tersebut. Salah satunya adalah coal handling system, yaitu sistem penanganan dan pengumpanan batubara dari area penyimpanan hingga ke ruang pembakaran. Komponen utama dalam sistem ini adalah coal feeder, yang berperan mengatur jumlah batubara yang masuk ke pulverizer secara proporsional dengan kebutuhan pembakaran boiler. Kinerja coal feeder harus selalu terjaga agar pasokan batubara berlangsung stabil sesuai kebutuhan daya turbin. Apabila laju aliran batubara terganggu, maka proses pembakaran dalam boiler menjadi tidak seimbang, yang dapat menyebabkan penurunan tekanan uap, efisiensi pembangkitan, bahkan gangguan operasi unit secara keseluruhan.[8]

Suhu pada area coal feeder menjadi salah satu parameter penting yang harus diawasi karena berpengaruh langsung terhadap keandalan mekanis dan keselamatan peralatan. Kenaikan temperatur yang berlebihan dapat menandakan adanya gesekan berlebih, potensi kebakaran batubara halus (*coal dust*), atau kerusakan pada sistem mekanik feeder. Oleh sebab itu, pemantauan suhu secara kontinu menjadi bagian krusial dalam sistem kontrol PLTU. Dalam perkembangan teknologi otomasi industri, sistem kontrol modern di PLTU telah banyak mengintegrasikan perangkat instrumentasi seperti temperature transmitter yang dihubungkan dengan Programmable Logic Controller (PLC) dan Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA). Sistem ini memungkinkan operator di Central Control Room untuk memantau kondisi suhu secara real-time tanpa harus melakukan pengukuran langsung di lapangan.[9]

Dengan adanya integrasi sistem pengukuran temperatur pada coal feeder, proses pengawasan di PLTU menjadi lebih efisien, akurat, dan responsif terhadap perubahan kondisi operasional. Hal ini sejalan dengan upaya PT PLN Indonesia Power UBP Barru dalam meningkatkan keandalan, keselamatan, serta digitalisasi proses pembangkitan listrik. Oleh karena itu, penelitian mengenai perancangan dan penerapan temperatur transmitter pada sistem coal feeder memiliki peran penting sebagai bentuk optimalisasi sistem instrumentasi dan kontrol dalam mendukung keandalan operasi PLTU secara keseluruhan[10]

2.2.2 Sistem Coal Feeder

Sistem coal feeder merupakan salah satu komponen penting dalam rangkaian sistem penyaluran bahan bakar batubara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Perangkat ini berfungsi untuk mengatur laju aliran batubara dari bunker menuju pulverizer sesuai dengan kebutuhan pembakaran di *furnace* atau ruang bakar boiler. Dengan adanya coal feeder, jumlah batubara yang masuk ke dalam proses pembakaran dapat dikendalikan secara presisi sehingga rasio antara bahan bakar dan udara pembakaran tetap seimbang. Keseimbangan ini sangat penting karena memengaruhi efisiensi termal, kestabilan nyala api, dan performa keseluruhan dari sistem pembangkitan listrik.[11]



Gambar 2. 2 Coal Feeder

(Sumber : Pribadi, Oktober 2025)

Prinsip kerja coal feeder secara umum adalah mengatur laju alir massa batubara berdasarkan sinyal perintah dari sistem kontrol utama, seperti *Boiler Master* atau *Turbine Control System*. Sinyal ini kemudian diolah oleh pengendali (*controller*) untuk menyesuaikan kecepatan putaran *belt conveyor* atau *rotary feeder* sehingga jumlah batubara yang diberikan ke pulverizer sesuai dengan permintaan beban boiler. Jenis coal feeder yang umum digunakan di PLTU meliputi volumetric feeder dan gravimetric feeder[12]. Volumetric feeder mengatur laju aliran berdasarkan volume batubara yang melewati sistem per satuan waktu, sedangkan gravimetric feeder bekerja dengan mengukur massa batubara secara langsung menggunakan sistem timbangan (*load cell*). Sistem gravimetric lebih unggul karena dapat memberikan pengukuran yang lebih akurat dan tidak terpengaruh oleh perubahan kepadatan batubara.

pengukuran otomatis ini, operator dapat mengetahui kondisi suhu setiap saat tanpa perlu melakukan pemeriksaan manual di lapangan, sehingga waktu respons terhadap potensi gangguan menjadi lebih cepat dan efisien.[14]

Keandalan sistem coal feeder sangat menentukan kestabilan operasi PLTU secara keseluruhan. Gangguan kecil pada feeder dapat menyebabkan ketidakseimbangan pasokan batubara, yang berimbas pada fluktuasi tekanan uap di boiler dan penurunan efisiensi pembangkitan. Oleh karena itu, penerapan teknologi pemantauan suhu yang terintegrasi dengan sistem kontrol menjadi langkah strategis dalam meningkatkan keamanan, keandalan, dan efisiensi sistem pembakaran batubara. Penelitian tentang perancangan dan penerapan temperatur transmitter pada coal feeder diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata terhadap pengembangan sistem instrumentasi industri yang lebih modern, akurat, dan terintegrasi di lingkungan PT PLN Indonesia Power UBP Barru.[15]

2.2.3 Temperatur dan Sensor Suhu

Temperatur merupakan salah satu parameter fisik yang paling penting dalam proses industri, terutama pada sistem pembangkitan listrik seperti PLTU. Temperatur menggambarkan tingkat panas atau dinginnya suatu benda, yang secara langsung berkaitan dengan energi kinetik rata-rata partikel di dalamnya. Dalam sistem termal seperti *coal feeder* pada PLTU, pengukuran temperatur berperan penting dalam menjaga kestabilan operasi dan keselamatan peralatan. Nilai suhu yang terlalu tinggi dapat mengindikasikan adanya gesekan berlebih, keausan komponen mekanis, atau potensi kebakaran akibat akumulasi panas dari batubara halus (*coal dust*). Oleh karena itu, pemantauan temperatur secara akurat dan berkelanjutan sangat dibutuhkan untuk mendeteksi kondisi abnormal sedini mungkin dan mencegah gangguan pada sistem pembangkitan.[16]

Satuan temperatur yang umum digunakan dalam sistem pengukuran industri adalah derajat Celsius ($^{\circ}\text{C}$) dan Kelvin (K). Prinsip pengukuran suhu dalam instrumentasi didasarkan pada perubahan sifat fisis suatu bahan akibat perubahan temperatur, seperti perubahan resistansi, tegangan listrik, atau ekspansi termal. Berdasarkan prinsip tersebut,

sensor suhu diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, antara lain Termokopel (Thermocouple), RTD (Resistance Temperature Detector), dan Thermistor.

Project : Suisel Barru 2 Coal Fired Steam Power Plant	Instrument : 9. RESISTANCE TEMPERATURE DETECTOR	Description : Coal Feeder						
Doc. No. : 18BP001-601-DS0-TS0001		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 33%;">By</th> <th style="width: 33%;">Chk'd</th> <th style="width: 33%;">Appr.</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">T.Y.KIM</td> <td style="text-align: center;">S.H.YOO</td> <td style="text-align: center;">Y.S.KIM</td> </tr> </table>	By	Chk'd	Appr.	T.Y.KIM	S.H.YOO	Y.S.KIM
By	Chk'd	Appr.						
T.Y.KIM	S.H.YOO	Y.S.KIM						

1. Manufacture	-----	WISE
2. Model no.	-----	R222 (Spring Load Type)
3. Head type	-----	General type, Weather Proof
4. Protection	-----	IP66
5. Head Material & Conduit size	-----	Aluminum, NPT 1/2 (Factory assembly)
6. Element	-----	Platinum
7. Connection	-----	3-wire (Double)
8. Mounting thread	-----	NPT 1/2
9. Sheath Material	-----	316LSS
10. Union Material	-----	304SS
11. Normal resistance	-----	PT 100Ω at 0°C
12. Temperature range	-----	0 ~ 200°C
13. Element class	-----	Class A

R.T.D. Dimension		Single / Double	Type	Pipe O.D.	Operating Temp. (°C)	Notes
L	A					
235	150	Double	Sheath RTD type, PT 100Ω	φ8.4	0~200°C	-

Instrument KKS No.	Service	Remark
30HFB10CT001 ~30HFB40CT001	To detect inside temperature of coal feeder.	
30HFB10CT002 ~30HFB40CT002	To detect inside temperature of coal feeder.	

Gambar 2. 4 Sensor Suhu

Sensor suhu tipe *Resistance Temperature Detector (RTD)* merupakan salah satu jenis sensor suhu yang bekerja berdasarkan prinsip perubahan resistansi listrik suatu logam terhadap perubahan suhu. Pada sensor tipe PT100 Series ini, elemen resistansi dibuat dari logam murni, seperti platina (Pt), yang memiliki karakteristik stabil dan linier terhadap kenaikan suhu. Prinsip kerjanya adalah ketika suhu di sekitar sensor meningkat, resistansi pada elemen logam juga meningkat secara proporsional. Perubahan resistansi tersebut kemudian diubah menjadi sinyal listrik yang dapat diukur dan dikonversi menjadi besaran suhu melalui rangkaian pengolah sinyal.

Sensor RTD tipe PT100 Series dirancang dalam bentuk *sheathed type*, yaitu konstruksi tertutup dengan pelindung logam (*metal sheathed lead wires*) yang diisi bahan

isolator magnesium oksida (*MgO compacted material*). Struktur ini memberikan ketahanan tinggi terhadap getaran, tekanan, serta suhu ekstrem, sekaligus memastikan umur pakai yang panjang dan waktu respon yang cepat. Selain itu, sensor ini tersedia dalam dua varian, yaitu *Explosion Proof Type* dan *General Type*, yang memungkinkan penggunaannya pada berbagai kondisi lingkungan industri, termasuk area berisiko tinggi seperti pada sistem pembakaran dan ruang uap di PLTU.

Kelebihan utama RTD dibandingkan sensor suhu lainnya seperti termokopel adalah akurasi dan stabilitas pengukuran yang lebih baik dalam rentang suhu menengah (hingga sekitar 600°C). RTD tipe ini juga mudah dikalibrasi, memiliki karakteristik linier, serta memberikan kestabilan sinyal jangka panjang. Dalam konteks penerapannya pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), sensor RTD digunakan untuk memantau suhu pada berbagai titik penting seperti pipa uap, *boiler*, sistem pendingin, dan *outfall water*, guna menjaga efisiensi termal serta mencegah terjadinya kerusakan akibat suhu berlebih. Dengan demikian, RTD tipe PT100 Series menjadi komponen vital dalam sistem kendali dan monitoring suhu yang berbasis *Programmable Logic Controller (PLC)* untuk memastikan operasi pembangkit berjalan stabil, efisien, dan aman. Dengan demikian, proses pengukuran temperatur dapat dilakukan secara otomatis, akurat, dan real-time, yang menjadi dasar bagi sistem pengendalian dan pemantauan modern pada instalasi pembangkit listrik.[17]

2.2.4 Temperatur Transmitter

Temperature transmitter merupakan salah satu komponen penting dalam sistem instrumentasi industri yang berfungsi untuk mengubah sinyal keluaran dari sensor suhu menjadi sinyal standar yang dapat dibaca oleh sistem kontrol seperti Programmable Logic Controller (PLC) atau sistem pemantauan Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA). Perangkat ini bekerja dengan menerima sinyal masukan berupa tegangan atau perubahan resistansi dari sensor suhu seperti Termokopel atau Resistance Temperature Detector (RTD).[18]



Gambar 2. 5 Temperatur Transmitter

(Sumber : Pribadi, Oktober 2025)

Prinsip utama penggunaan temperature transmitter adalah untuk meningkatkan kualitas transmisi sinyal suhu dari lapangan menuju ruang kontrol. Sinyal keluaran dari sensor pada umumnya memiliki nilai yang kecil dan mudah terpengaruh oleh gangguan elektromagnetik, jarak pengiriman yang jauh, serta kondisi lingkungan di area industri. Dengan adanya transmitter, sinyal tersebut diperkuat dan dikonversi ke format yang lebih stabil sehingga tahan terhadap gangguan. Hal ini memastikan bahwa nilai temperatur yang diterima oleh sistem kontrol tetap akurat, konsisten, dan tidak mengalami penyimpangan akibat noise atau interferensi selama proses transmisi.

Dalam sistem industri modern dikenal dua jenis utama temperature transmitter yaitu transmitter analog dan transmitter digital atau sering disebut smart transmitter. Transmitter analog bekerja secara linier dengan mengubah perubahan resistansi atau tegangan dari sensor menjadi sinyal arus tanpa proses digitalisasi. Sedangkan transmitter digital sudah dilengkapi mikroprosesor yang mampu melakukan kalibrasi otomatis, kompensasi suhu, serta komunikasi dua arah antara transmitter dengan sistem kontrol. Penggunaan transmitter digital sangat menguntungkan karena dapat dihubungkan langsung ke PLC dan SCADA, serta memungkinkan pengaturan dan pemantauan jarak jauh secara efisien.

Pada sistem coal feeder di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), temperature transmitter berperan penting dalam memantau suhu pada area yang berpotensi mengalami

peningkatan temperatur seperti bearing housing, belt conveyor, dan motor penggerak. Kenaikan suhu di area tersebut dapat menjadi indikasi adanya gesekan berlebih, gangguan mekanik, atau ketidakseimbangan kerja peralatan. Dengan menghubungkan temperature transmitter ke sistem PLC, data suhu yang dihasilkan dapat diolah untuk memicu alarm apabila suhu melebihi batas aman. Data hasil pengukuran ini kemudian dikirim ke sistem SCADA di Central Control Room agar operator dapat melakukan pengawasan secara real-time dan mengambil tindakan pencegahan dengan cepat tanpa harus melakukan pemeriksaan langsung di lapangan. Penerapan temperature transmitter tidak hanya meningkatkan akurasi dan keandalan sistem pemantauan, tetapi juga mendukung efisiensi kerja serta keselamatan personel. Proses pengukuran suhu secara otomatis dapat mengurangi frekuensi inspeksi manual sehingga risiko paparan panas, debu batubara, dan potensi bahaya listrik di area coal feeder dapat diminimalkan. Hal ini sejalan dengan prinsip operasi aman dan efisien yang menjadi standar operasional di industri pembangkitan listrik modern.

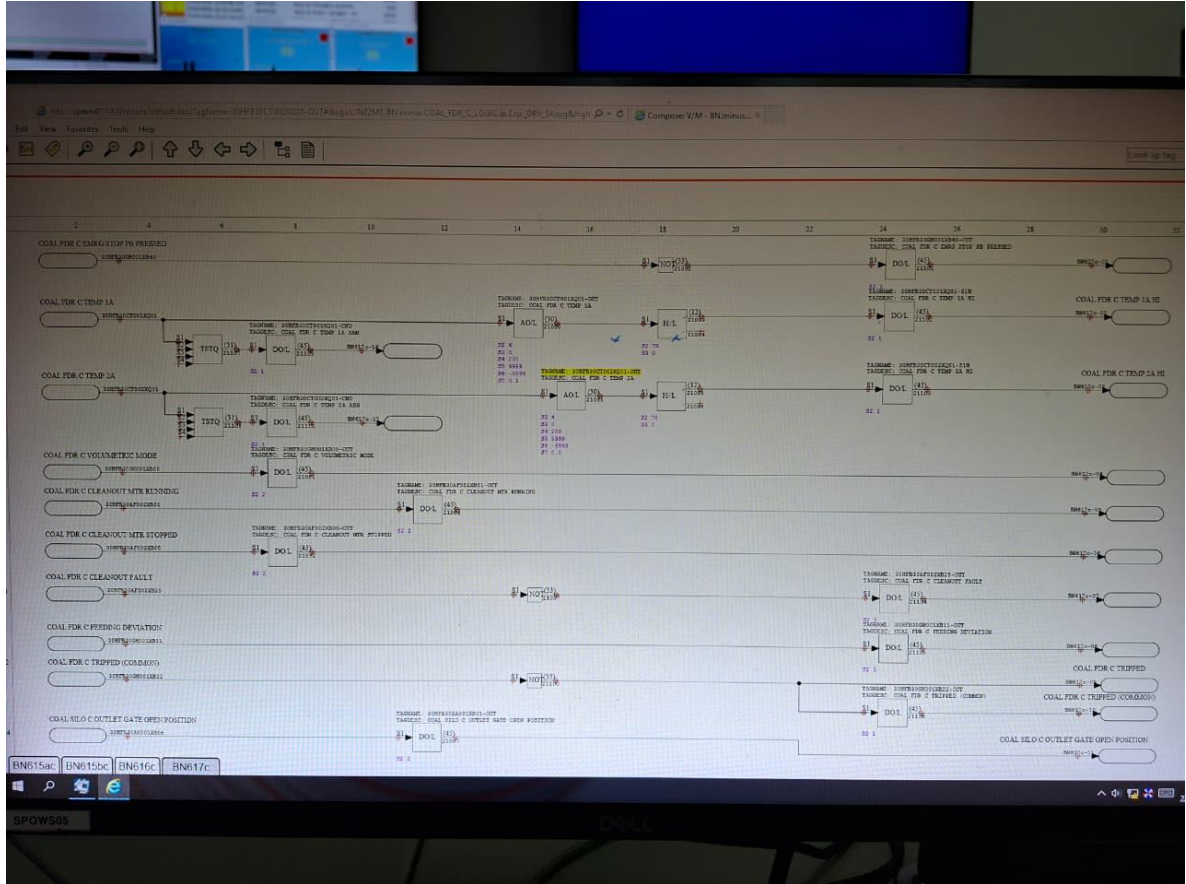
Dalam konteks penelitian ini, temperature transmitter dirancang untuk menghubungkan hasil pengukuran suhu pada coal feeder dengan sistem PLC dan SCADA di Central Control Room PT PLN Indonesia Power UBP Barru. Tahapan penelitian mencakup pemilihan spesifikasi alat yang sesuai dengan kondisi kerja di lapangan, perancangan wiring diagram, proses instalasi serta konfigurasi sinyal, dan analisis kesesuaian hasil pembacaan antara data lapangan dan data yang tampil pada SCADA. Dengan penerapan sistem pengukuran berbasis transmitter ini, diharapkan pemantauan suhu pada sistem coal feeder dapat dilakukan secara real-time, akurat, dan terintegrasi, sehingga mendukung peningkatan keandalan serta efisiensi operasi pada PLTU secara keseluruhan.

2.2.5 Programmable Logic Controller (PLC)

Programmable Logic Controller atau PLC merupakan perangkat elektronik yang digunakan untuk melakukan pengendalian otomatis pada sistem industri. PLC berfungsi sebagai otak pengendali yang menerima sinyal masukan dari berbagai sensor dan transmitter, kemudian memproses sinyal tersebut berdasarkan logika atau program yang telah ditentukan, dan menghasilkan keluaran untuk mengontrol aktuator seperti motor, relay, atau katup.

Dalam dunia industri modern, PLC memiliki peran yang sangat penting karena mampu menggantikan sistem kontrol konvensional berbasis relay yang memiliki keterbatasan dalam hal fleksibilitas, kecepatan respon, dan keandalan operasi.[19]

PLC dirancang dengan struktur modular yang terdiri atas beberapa bagian utama yaitu unit prosesor, modul input dan output, serta sistem komunikasi. Unit prosesor atau Central Processing Unit (CPU) bertugas mengeksekusi instruksi program dan melakukan pemrosesan logika kontrol. Modul input berfungsi untuk menerima sinyal dari perangkat lapangan seperti sensor suhu, tekanan, atau transmitter, sedangkan modul output mengirimkan sinyal perintah ke perangkat kendali seperti motor penggerak atau solenoid. Selain itu, PLC juga dilengkapi dengan sistem komunikasi yang memungkinkan pertukaran data dengan perangkat lain seperti komputer, Human Machine Interface (HMI), dan sistem SCADA.



Gambar 2. 6 Leeder Diagram PLC

(Sumber : Pribadi, Oktober 2025)

Keunggulan utama PLC terletak pada kemampuannya dalam melakukan pengendalian secara real-time, kemampuan pemrograman yang fleksibel, serta kemudahan dalam pemeliharaan dan modifikasi sistem. Bahasa pemrograman yang digunakan dalam PLC umumnya berupa *ladder diagram*, *function block diagram*, atau *structured text* yang mudah dipahami oleh teknisi dan insinyur di bidang kontrol industri. Selain itu, PLC juga memiliki tingkat keandalan yang tinggi karena dirancang untuk bekerja dalam lingkungan industri yang keras, termasuk suhu tinggi, getaran, dan debu yang sering ditemukan di area pembangkit listrik seperti sistem *coal feeder*.

Dalam sistem *coal feeder* di PLTU, PLC digunakan untuk mengontrol laju pengumpanan batubara, memantau kondisi operasi, serta mengatur sistem proteksi apabila terjadi gangguan seperti suhu berlebih pada *bearing* atau motor penggerak. Data dari *temperature transmitter* dikirim ke modul input analog PLC untuk diproses dan dibandingkan dengan nilai ambang batas yang telah ditentukan. Apabila suhu melebihi batas normal, PLC akan mengirimkan sinyal keluaran berupa alarm atau perintah penghentian operasi sementara guna mencegah kerusakan yang lebih serius.

Integrasi PLC dengan sistem *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) memungkinkan proses pemantauan dan pengendalian dilakukan dari *Central Control Room* secara terpusat. Melalui sistem ini, operator dapat melihat data suhu, status peralatan, dan tren perubahan kondisi operasi dalam bentuk tampilan grafik yang mudah dipahami. Penggunaan PLC yang terhubung dengan *temperature transmitter* tidak hanya meningkatkan efisiensi dan kecepatan respon sistem, tetapi juga mendukung penerapan konsep digitalisasi kontrol pada pembangkit listrik modern seperti PT PLN Indonesia Power UBP Barru.

Dengan demikian, PLC berperan sebagai penghubung utama antara sistem instrumentasi di lapangan dan sistem kontrol di ruang kendali. Keberadaan PLC memastikan bahwa seluruh proses pengukuran, pemantauan, serta pengendalian suhu pada *coal feeder* dapat berlangsung secara otomatis, presisi, dan berkesinambungan untuk mendukung keandalan operasi Pembangkit Listrik Tenaga Uap secara menyeluruh.

2.2.6 Sistem Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)

Sistem Supervisory Control and Data Acquisition atau SCADA merupakan sistem pengawasan dan pengendalian otomatis yang digunakan secara luas dalam dunia industri, termasuk pada sistem pembangkit listrik. SCADA berfungsi untuk memantau, mengendalikan, serta mengumpulkan data dari berbagai peralatan lapangan secara real-time melalui sistem komunikasi yang terintegrasi. Sistem ini menjadi bagian penting dalam pengoperasian modern di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) karena memungkinkan

pengawasan seluruh proses produksi energi dilakukan secara terpusat di Central Control Room.[20]

Pada dasarnya, sistem SCADA terdiri atas empat komponen utama yaitu Human Machine Interface (HMI), Remote Terminal Unit (RTU) atau Programmable Logic Controller (PLC), sistem komunikasi, dan basis data atau *data historian*. HMI merupakan antarmuka grafis yang digunakan operator untuk memantau status peralatan dan proses di lapangan. PLC atau RTU berfungsi sebagai pengendali lokal yang mengumpulkan data dari sensor dan transmitter di lapangan, kemudian mengirimkannya ke sistem SCADA melalui jaringan komunikasi industri seperti Ethernet atau Modbus TCP. Data yang diterima akan disimpan dalam basis data untuk kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik, tabel, atau alarm notifikasi pada layar operator.

Dalam konteks sistem *coal feeder* di PLTU, SCADA berperan penting dalam memantau berbagai parameter operasional seperti kecepatan putaran *belt conveyor*, arus motor penggerak, serta suhu komponen penting seperti *bearing housing* dan *motor drive*. Data suhu yang dikirim oleh *temperature transmitter* melalui PLC akan diteruskan ke sistem SCADA untuk ditampilkan pada layar di Central Control Room. Tampilan ini memungkinkan operator untuk memantau kondisi suhu secara terus menerus, mendeteksi adanya peningkatan temperatur di luar batas normal, dan mengambil tindakan pencegahan dengan cepat sebelum terjadi kerusakan yang lebih serius.

Selain sebagai alat pemantau, SCADA juga memiliki fungsi diagnostik yang memungkinkan analisis performa sistem secara menyeluruh. Misalnya, apabila terjadi perbedaan pembacaan antara suhu lapangan dengan data pada kontrol room, operator dapat menelusuri kemungkinan kesalahan pada sensor, transmitter, atau jalur komunikasi. Hal ini menjadikan SCADA bukan hanya sebagai alat monitoring, tetapi juga sebagai sistem pengendalian cerdas yang mampu meningkatkan reliabilitas dan keamanan operasi pembangkit listrik.

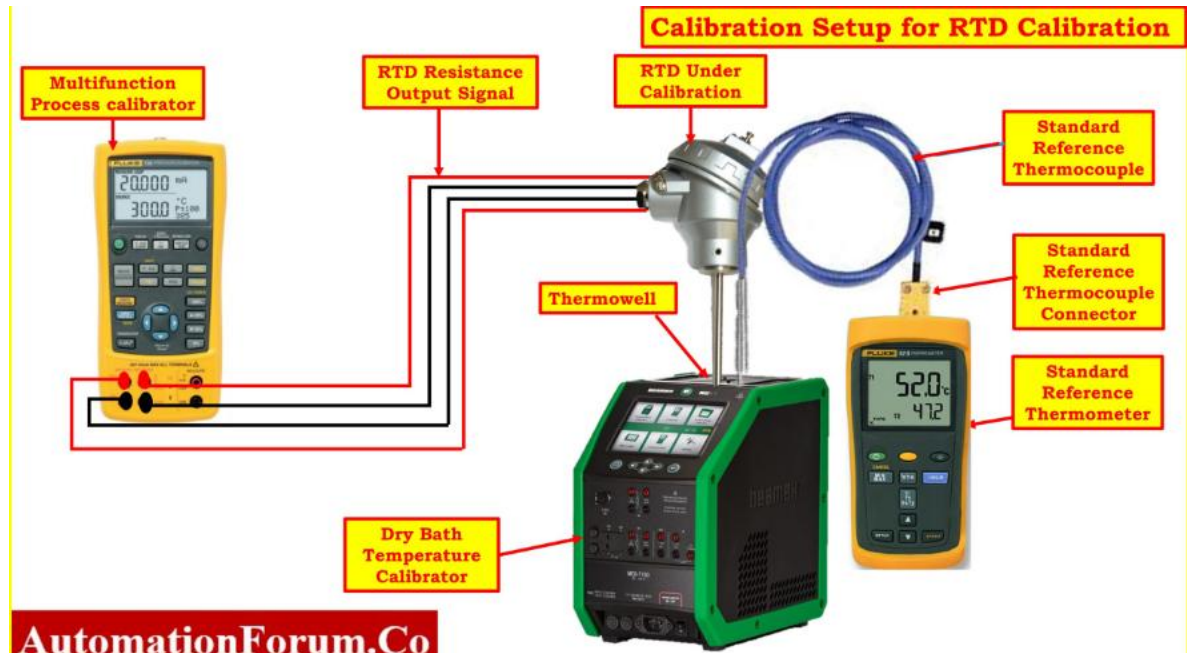
Dengan penerapan SCADA yang terintegrasi dengan PLC dan *temperature transmitter*, proses pengawasan pada sistem *coal feeder* di PT PLN Indonesia Power UBP Barru menjadi lebih efisien, akurat, dan responsif.

2.2.7 Akurasi dan Kalibrasi Sistem Pengukuran Temperatur

Akurasi sistem pengukuran temperatur merupakan faktor penting dalam menentukan keandalan sistem monitoring. Dalam lingkungan industri seperti pembangkit listrik, kesalahan pengukuran yang besar dapat menyebabkan kegagalan deteksi dini terhadap gangguan mekanis. Oleh karena itu, proses kalibrasi sensor dan *temperature transmitter* dilakukan secara berkala untuk memastikan hasil pengukuran tetap sesuai standar.

Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor dengan alat referensi yang memiliki akurasi lebih tinggi. Proses ini bertujuan untuk mengetahui error sistem serta melakukan penyesuaian apabila ditemukan penyimpangan. Standar internasional

seperti IEC 60751 mengatur karakteristik akurasi sensor RTD PT100, termasuk toleransi dan linearitas.



Gambar 2. 8 Kalibrasi Pengukuran Temperatur

Kesalahan pengukuran dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

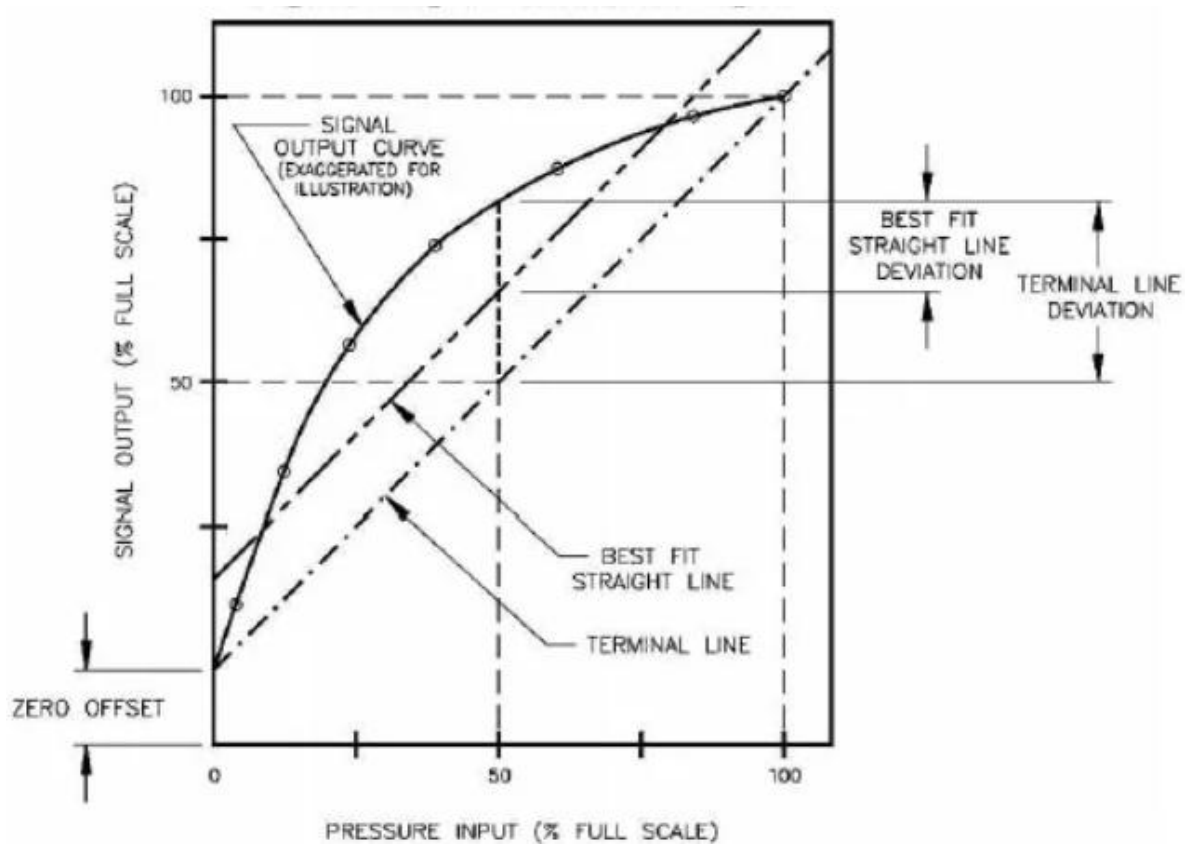
1. Lokasi pemasangan sensor.
2. Konduksi panas material.
3. Gangguan elektromagnetik.
4. Noise sinyal.
5. Drift sensor akibat penuaan.

Dalam penelitian ini, analisis error menunjukkan nilai kesalahan yang kecil, sehingga sistem monitoring dapat dikatakan akurat dan sesuai standar industri.

2.2.8 Stabilitas dan Linearitas Sinyal Temperatur

Stabilitas dan linearitas merupakan indikator penting dalam sistem instrumentasi. Linearitas menunjukkan hubungan proporsional antara perubahan temperatur dan sinyal keluaran transmitter. Sistem yang linier memudahkan proses scaling pada PLC serta meningkatkan akurasi pembacaan SCADA.

Gangguan seperti noise, fluktuasi tegangan, dan interferensi elektromagnetik dapat menyebabkan ketidakstabilan sinyal. Oleh karena itu, penggunaan sinyal arus 4–20 mA menjadi standar industri karena lebih tahan terhadap gangguan.

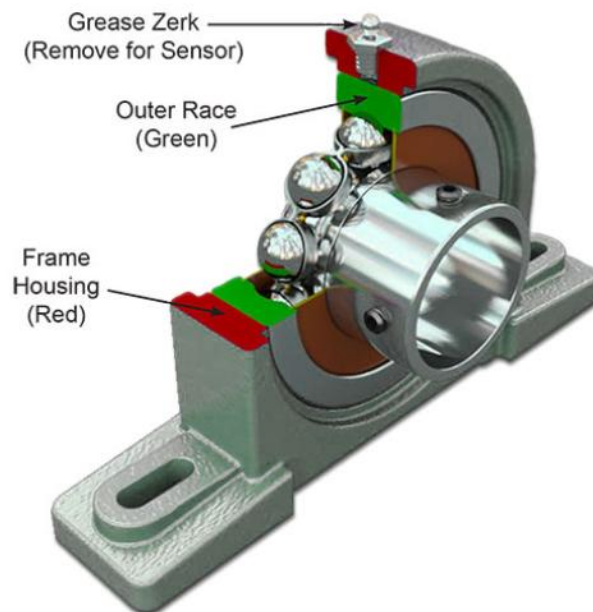


Gambar 2. 9 Line Sinyal Temperatur

Dalam aplikasi coal feeder, kestabilan sinyal sangat penting untuk memastikan data temperatur yang ditampilkan tidak mengalami fluktuasi yang tidak wajar. Stabilitas sistem monitoring mendukung deteksi dini gangguan serta meningkatkan keandalan operasi.

2.2.9 Distribusi Temperatur pada Bearing dan Komponen Mekanis

Distribusi temperatur pada bearing merupakan indikator utama kondisi mekanis peralatan. Kenaikan temperatur pada bearing dapat disebabkan oleh:



Gambar 2. 10 Sensor Temperatur Pada Bearing

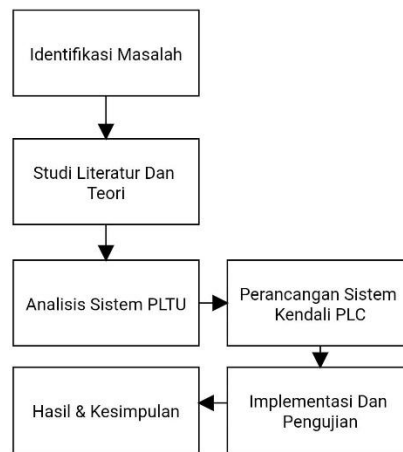
1. Gesekan.
2. Pelumasan yang tidak optimal.
3. Beban berlebih.
4. Misalignment.

Monitoring temperatur inlet dan outlet membantu dalam memahami distribusi panas pada sistem. Perbedaan temperatur yang kecil menunjukkan kondisi normal, sedangkan peningkatan signifikan dapat menjadi indikasi gangguan.

Pada coal feeder, kestabilan distribusi temperatur menunjukkan bahwa sistem pelumasan bekerja dengan baik dan beban mekanis terkendali

2.3 Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran ini menjadi dasar logis yang menjelaskan alur berpikir peneliti dalam menganalisis dan memecahkan permasalahan, serta menghubungkan teori, konsep, dan hasil penelitian terdahulu untuk mencapai tujuan penelitian.



Gambar 2. 11 Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran pada gambar tersebut menggambarkan alur berpikir peneliti dalam pelaksanaan penelitian mengenai sistem kendali dan monitoring pada PLTU berbasis *Programmable Logic Controller (PLC)*. Penelitian diawali dengan identifikasi masalah, yaitu mengenali permasalahan operasional dan efisiensi pada sistem pembangkit listrik tenaga uap. Selanjutnya dilakukan studi literatur dan teori untuk memperoleh dasar ilmiah yang relevan, meliputi teori sistem kendali otomatis, prinsip kerja PLC, serta hasil penelitian terdahulu yang mendukung. Berdasarkan pemahaman teori tersebut, dilakukan analisis sistem PLTU guna mengetahui kondisi eksisting, kelemahan, serta kebutuhan akan sistem kendali yang lebih efisien. Hasil analisis ini menjadi dasar dalam perancangan sistem kendali PLC, yang bertujuan mengoptimalkan proses pengendalian dan monitoring di PLTU. Setelah rancangan dibuat, dilakukan implementasi dan pengujian untuk memastikan sistem bekerja sesuai fungsinya dan mampu meningkatkan keandalan operasi. Tahapan terakhir adalah hasil dan

kesimpulan, di mana dilakukan evaluasi terhadap kinerja sistem yang telah diterapkan serta penarikan kesimpulan mengenai efektivitas penerapan PLC dalam meningkatkan efisiensi dan stabilitas sistem pembangkitan listrik.