

Sistem Kontrol Pada Unit Proses *Chilled Water System*

**Muhardika^{1*}, Wiwik Wiharti², Riza Widia³, Andira Agustin⁴, Yani Kamisa Putri⁵,
Yudia Meka Seftiani⁶**

^{1,2,3,6} Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Padang, Indonesia

^{4,5} Program Studi Teknologi Rekayasa Instalasi Listrik, Politeknik Negeri Padang, Indonesia

muhardika@pnp.ac.id^{1*}, wiwikwiharti@gmail.com², rizawidia@pnp.ac.id³, andiraagustin4@gmail.com⁴,
yanikamisaputri@pnp.ac.id⁵, yudia@pnp.ac.id⁶

Received 16 Juli 2025 | Revised 20 Agustus 2025 | Accepted 2 September 2025

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi bagaimana sistem kontrol otomatis pada unit *Process Chilled Water* (PCW) di PT. Infineon berfungsi dalam mendukung proses pendinginan yang efisien. Kami fokus pada kinerja sistem dalam mengatur suhu dan tekanan, serta bagaimana kontrol *Proportional-Integral-Derivative* (PID) berperan dalam menjaga kestabilan operasional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini bekerja dengan baik, mampu mempertahankan suhu dalam rentang 15°C hingga 23°C dan tekanan antara 2,5 hingga 3,2 bar. Kontrol PID yang diterapkan terbukti responsif terhadap perubahan suhu dan tekanan, sehingga sistem dapat menyesuaikan diri dengan cepat dan akurat. Dengan menggunakan sensor tekanan dan suhu, sistem secara otomatis mengaktifkan atau menonaktifkan pompa, yang membantu menjaga kondisi operasional yang optimal. Salah satu aspek penting dari sistem ini adalah tampilan *Human-Machine Interface* (HMI), yang memudahkan operator dalam memantau status operasional secara *real-time*. HMI memungkinkan operator untuk membuat keputusan yang lebih cepat dan tepat, serta meningkatkan respons terhadap situasi darurat. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa integrasi antara sistem kontrol otomatis dan HMI tidak hanya meningkatkan efisiensi, tetapi juga mengurangi kemungkinan kesalahan manusia dalam pengelolaan proses pendinginan. Secara keseluruhan, temuan dari penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan sistem kontrol otomatis di PT. Infineon memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kinerja sistem pendinginan. Kami berharap hasil penelitian ini dapat menjadi referensi berharga bagi industri lain yang ingin menerapkan sistem kontrol otomatis serupa untuk meningkatkan efisiensi operasional mereka.

Kata kunci: PCW, PID, HMI, Suhu, Tekanan

This study aims to evaluate the performance of the automatic control system of the Process Chilled Water (PCW) unit at PT. Infineon in supporting efficient cooling operations. The focus is on how effectively the system regulates temperature and pressure, as well as the role of Proportional-Integral-Derivative (PID) control in maintaining operational stability. The results indicate that the system performs reliably, maintaining temperatures within the range of 15–23 °C and pressures between 2.5 and 3.2 bar. The implemented PID control demonstrates strong responsiveness to variations in temperature and pressure, enabling the system to adjust rapidly and accurately. By utilizing pressure and temperature sensors, the system can automatically activate or deactivate pumps, thereby maintaining optimal operating conditions. A notable feature of this system is the Human-Machine Interface (HMI), which facilitates real-time monitoring of operational status. The HMI enables operators to make faster and more informed decisions, thereby improving responsiveness during critical situations. Furthermore, the integration of the automatic control system with HMI not only enhances overall efficiency but also minimizes the potential for human error in managing the cooling process. Overall, the findings suggest that the implementation of the automatic control system at PT. Infineon significantly improves the performance and reliability of the cooling system. These results are expected to provide a valuable reference for other industries seeking to adopt similar automatic control systems to enhance their operational efficiency.

Keyword: PCW, PID, HMI, Temperature, Pressure

I. PENDAHULUAN

Di zaman modern ini, permintaan untuk kenyamanan suhu dalam ruangan semakin tinggi. *Chilled Water System* (CWS), sebagai salah satu teknologi pendinginan yang paling banyak digunakan, memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan tersebut. Proses *Chilled Water System* (PCW) adalah sistem pendingin yang memanfaatkan air untuk menyerap panas dari proses atau mesin dalam suatu industri. Sistem ini perlu dikendalikan secara presisi agar suhu tetap berada dalam rentang optimal sehingga proses produksi berjalan stabil (Huong et al., 2021). Air yang didinginkan (*chilled water*) bersirkulasi melalui peralatan atau mesin yang

memerlukan pendinginan untuk menjaga suhu tetap stabil dan optimal selama beroperasi. PCW lebih fokus pada pengendalian suhu untuk proses industri atau produksi. Sistem ini sangat penting untuk menjaga kelancaran operasi dan mencegah kerusakan peralatan akibat panas berlebih (Kim et al., 2021; Mokhtar et al., 2020).

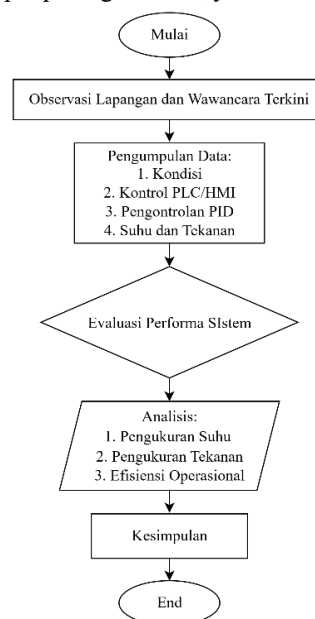
PCW berperan penting sebagai pendingin yang menjaga suhu mesin tetap stabil sesuai kebutuhan operasional. *Chilled water system* bekerja dengan mensirkulasikan air dingin melalui jaringan pipa yang terhubung ke berbagai mesin produksi. Sistem ini menyerap panas yang dihasilkan oleh mesin-mesin produksi, memastikan mesin beroperasi pada suhu yang aman dan ideal. Pengendalian suhu yang presisi sangat penting dalam industri semikonduktor, di mana sedikit fluktuasi suhu saja dapat berdampak signifikan terhadap kualitas hasil produksi (Kim et al., 2021; Abdullah et al., 2019).

Diperlukan sistem kontrol untuk mengatur operasi unit chilled water system. Kontrol ini mencakup teknologi *Variable Speed Drive* (VSD) yang memungkinkan pengaturan kecepatan pompa dan kompresor secara dinamis sesuai beban pendinginan. Dengan adanya VSD, konsumsi energi dapat diminimalkan terutama saat beban pendinginan rendah, sehingga efisiensi energi meningkat (Arifin et al., 2021). Sistem kontrol juga dilengkapi dengan sensor temperatur, sensor tekanan, pengendali *Proportional-Integral-Derivative* (PID) serta sistem pemantauan berbasis *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA). SCADA memungkinkan pengawasan dan pengendalian secara real-time terhadap kinerja unit chilled water serta memastikan bahwa setiap mesin produksi mendapatkan pendinginan sesuai kebutuhan, sehingga produktivitas tetap tinggi dan kualitas produk terjamin. Dalam konteks PCW, kontrol PID pada pompa dan motorize valve digunakan untuk mempertahankan tekanan dan suhu yang stabil, serta mengurangi risiko overheating pada mesin produksi (Cui et al., 2022; Sulaiman et al., 2023; Lee & Cho, 2020). Dalam konteks operasional industri, banyak proses yang menghasilkan panas, seperti pada mesin-mesin produksi PT. Infineon yang beroperasi terus-menerus sehingga menghasilkan panas berlebih. Proses PCW memastikan bahwa semua sistem yang membutuhkan pendinginan memperoleh air dingin yang stabil dan andal, serta menjaga efisiensi energi sekaligus meminimalkan risiko kerusakan sistem.

Meskipun berbagai penelitian sebelumnya telah membahas pengendalian suhu dan tekanan pada sistem pendingin industri menggunakan kontrol PID atau integrasi dengan SCADA, sebagian besar masih berfokus pada simulasi atau skala laboratorium (Huong et al., 2021; Cui et al., 2022). Selain itu, penelitian terdahulu lebih banyak menekankan optimasi chiller atau penerapan VSD untuk penghematan energi (Kim et al., 2021; Dos Santos et al., 2022), namun belum banyak yang mengkaji secara komprehensif integrasi PID–VSD–HMI pada unit PCW di industri semikonduktor yang menuntut presisi tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengevaluasi kinerja sistem kontrol otomatis PCW di PT. Infineon dalam menjaga kestabilan suhu dan tekanan, serta (2) menilai efektivitas integrasi kontrol PID dengan VSD dan HMI dalam meningkatkan efisiensi dan keandalan proses pendinginan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi industri dalam penerapan sistem pendingin berbasis kontrol otomatis yang lebih efisien, andal, dan adaptif.

II. METODE PENELITIAN

Adapun diagram alir penelitian terdapat pada gambar 1, yaitu:



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan observasi langsung di lapangan dan wawancara dengan teknisi saat kegiatan magang industri. Data yang dikumpulkan mencakup kondisi operasional sistem, pengaturan kontrol pada PLC dan HMI, pengontrolan PID, serta performa sistem pendinginan berdasarkan pengukuran temperatur dan tekanan secara aktual. Adapun penjelasan dari diagram alir pada gambar 1 adalah:

1. Mulai
Penelitian diawali dengan perencanaan kegiatan observasi lapangan dan wawancara dengan teknisi yang bertanggung jawab terhadap operasional sistem *Process Chilled Water* (PCW).
2. Observasi Lapangan dan Wawancara Teknisi
Pada tahap ini dilakukan pengamatan langsung terhadap kondisi sistem PCW di lapangan serta wawancara dengan teknisi untuk memperoleh informasi terkait prosedur operasional, kendala, dan pengalaman praktis dalam pengendalian sistem.
3. Pengumpulan Data
Data dikumpulkan dari beberapa aspek, yaitu:
4. Kondisi Operasional Sistem
Hal ini mencakup status peralatan, pola kerja pompa, dan kinerja chiller.
5. Kontrol PLC/HMI
Hal ini mencakup dokumentasi konfigurasi pada *Programmable Logic Controller* (PLC) dan tampilan *Human-Machine Interface* (HMI).
6. Pengontrolan PID
Merupakan parameter yang digunakan untuk mengendalikan tekanan dan suhu.
7. Suhu dan Tekanan
8. Hasil pengukuran aktual dari sensor sebagai indikator performa sistem.
9. Evaluasi Performa Sistem
Data yang diperoleh dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem pendingin, khususnya kemampuan kontrol PID dalam menjaga kestabilan suhu dan tekanan sesuai dengan kebutuhan proses.
10. Kesimpulan
Tahap akhir penelitian adalah menarik kesimpulan berdasarkan hasil evaluasi, yang mencakup efektivitas sistem kontrol otomatis PCW, keandalan operasional, dan kontribusinya terhadap efisiensi energi.
11. End
Penelitian diakhiri setelah kesimpulan diperoleh dan rekomendasi dapat disusun untuk pengembangan sistem di masa mendatang.

Hasil performa sistem pendinginan dievaluasi berdasarkan pengukuran suhu dan tekanan secara aktual, yang merupakan indikator kunci dari efisiensi operasional sistem pendinginan menunjukkan bahwa pengukuran suhu dan tekanan yang akurat sangat penting untuk menilai kinerja sistem pendinginan dan untuk melakukan perbaikan yang diperlukan (Sumeru et al., 2024). Melalui observasi langsung, kami dapat melihat secara langsung bagaimana sistem beroperasi, termasuk pengaturan kontrol pada *Programmable Logic Controller* (PLC) dan *Human-Machine Interface* (HMI). Metode ini sangat berguna karena memungkinkan kami untuk memahami dinamika dan tantangan yang dihadapi dalam lingkungan kerja nyata (Banaulikar, 2020). Selain itu, wawancara dengan teknisi memberikan kesempatan untuk mendalami pengalaman mereka. Kami percaya bahwa cerita dan perspektif mereka sangat penting untuk memahami bagaimana sistem ini berfungsi dalam praktik (Vasantharaj et al., 2025). Dengan menggabungkan kedua metode ini, kami berharap dapat memberikan gambaran yang lebih lengkap tentang pengaturan kontrol pada PLC dan HMI, serta bagaimana keduanya berkontribusi terhadap efisiensi dan efektivitas sistem operasional di industri.

Sistem PCW terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

1. Chiller – menurunkan suhu air yang akan disirkulasikan (Dos Santos et al., 2022).
2. Pompa – mengalirkan air dingin dari chiller ke peralatan produksi (Otomasi et al., 2021).
3. Heat Exchanger – memindahkan panas antar fluida dengan efisiensi tinggi (Ko et al., 2019).
4. Pipa dan Katup – menyalurkan air dingin sesuai kebutuhan sistem.
5. Motorized Valve – mengatur aliran air dari chiller ke heat exchanger.
6. Pressure Sensor – mengukur tekanan dan mengubahnya menjadi sinyal listrik (Zhang et al., 2025).
7. Temperature Sensor – memantau kondisi air pendingin (Khetabi et al., 2025).
8. Water Level Control – menjaga level air tetap aman pada tangki penyimpanan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini membahas tentang hasil monitoring sistem PCW *Roof Top* dengan perbandingan nilai *temperature* dan *pressure system*. Bagian pertama akan membahas diskripsi sistem PCW, bagian kedua membahas sistem kontrol PCW, dan bagian terakhir akan membahas hasil observasi sistem PCW.

A. Deskripsi Sistem PCW

Sistem PCW terdiri dari *chiller*, pompa, *heat exchanger*, sensor tekanan dan suhu, *motorize valve*, serta kontroler PLC dan HMI. Air dingin disirkulasikan untuk menyerap panas dari proses produksi melalui *heat exchanger*, dan sistem ini memerlukan kontrol presisi untuk menjaga efisiensi energi.

1. Chiller

Chiller berfungsi sebagai inti dari sistem PCW, bertugas menurunkan suhu air yang akan disirkulasikan ke peralatan produksi. Efisiensi dan keandalan *chiller* sangat penting untuk menjaga performa sistem secara keseluruhan. Penerapan metode kontrol hibrida pada sistem *chiller* dapat meningkatkan efisiensi energi secara signifikan. Pengoptimalan kontrol *chiller* dapat mengurangi konsumsi energi hingga 15% dalam sistem pendingin sentral (Dos Santos et al., 2022).

2. Pompa

Pompa dalam *process chilled water system (PCW)* adalah komponen penting yang berfungsi untuk mengalirkan air dingin dari *chiller* ke peralatan yang membutuhkan pendinginan dan kemudian mengembalikan air hangat ke *chiller* untuk didinginkan kembali. Kecepatan dan tekanan pompa harus dikontrol secara presisi untuk memastikan aliran air yang stabil. Pentingnya penggunaan kontrol PID pada sistem pompa untuk menjaga kestabilan suhu dan tekanan dalam sistem pendingin (Otomasi et al., 2021). Gambar 2 menunjukkan susunan pompa pada sistem PCW, di mana pompa bekerja secara bergantian atau bersamaan tergantung kebutuhan pendinginan.



Gambar 2. Pump Sistem PCW

3. Heat Exchanger

Heat exchanger, atau bisa disebut sebagai alat penukar panas merupakan alat yang berfungsi untuk memindahkan panas antar dua fluida dengan *temperature* yang berbeda. Di antara kedua fluida ada yang berperan sebagai fluida panas dan juga sebagai fluida dingin. Dalam *process chilled water system* jenis *heat exchanger* yang digunakan yaitu *plate and frame heat exchanger*. *Heat exchanger plate and frame* terdiri atas pelat-pelat tipis tegak lurus untuk membuat saluran paralel. Penggunaan *heat exchanger tipe plate and frame* dapat meningkatkan efisiensi transfer panas hingga 20% dibandingkan dengan tipe *shell and tube* (Ko et al., 2019). Gambar 3 menggambarkan *heat exchanger tipe plate and frame* yang digunakan pada PCW. Komponen ini berfungsi untuk memindahkan panas antara fluida dingin dan panas. Desain plat paralel meningkatkan efisiensi perpindahan panas hingga 20% dibandingkan tipe *shell and tube*.



Gambar 3. Heat Exchanger Sistem PCW

4. Pipa dan Katup

Pada *process chilled water system (PCW)*, pipa dan katup merupakan komponen penting yang berperan dalam menyalurkan air dingin dari *chiller* ke titik-titik yang membutuhkan pendinginan, mengatur air sesuai kebutuhan.

a. Pipa (*Piping*)

Pipa berfungsi sebagai jalur distribusi untuk mengalirkan air dingin dari *chiller* ke mesin yang membutuhkan pendinginan, lalu kembali ke *chiller* setelah air menyerap panas dari proses. Pipa terbagi menjadi dua jalur utama yaitu, *supply line* dan *return line*. Gambar 4 memperlihatkan jaringan pipa yang berperan sebagai jalur distribusi air dingin dari *chiller* ke mesin produksi, serta mengembalikannya setelah menyerap panas. Pipa dibagi menjadi *supply line* dan *return line*, yang diatur oleh katup untuk mengoptimalkan distribusi pendinginan.



Gambar 4. *Piping* Sistem PCW

b. Katup (*Valve*)

Katup dalam PCW berfungsi untuk mengatur, mengontrol, dan mengarahkan aliran air pada sistem.

5. Motorize Valve

Motorize valve atau katup kontrol mengatur aliran air dingin dari *chiller* ke *heat exchanger*. Posisi katup diatur sesuai dengan besarnya gaya yang diberikan oleh penggerak, sehingga aliran fluida sesuai dengan besarnya gaya yang diberikan sepenuhnya. Gambar 5 menunjukkan *motorized valve* yang berfungsi mengatur jumlah aliran air dingin ke *heat exchanger*. Posisi katup dikontrol secara otomatis melalui sinyal dari pengontrol PID agar aliran tetap sesuai dengan setpoint yang ditentukan.



Gambar 5. *Motorize Valve* Sistem PCW

6. Pressure Sensor

Pressure sensor adalah perangkat yang mengukur *pressure* gas atau cairan dan mengonversinya menjadi sinyal listrik untuk dianalisis atau pengendalian. Prinsip kerja *pressure sensor* bekerja dengan mengubah *pressure* menjadi sinyal listrik analog (Zhang et al., 2025). Prinsip kerja *pressure sensor* dalam *process chilled water system* bertujuan untuk mengukur dan memantau *pressure* air dingin di berbagai sistem,

seperti pada pipa *supply* dan pipa *return* dari *chiller* ke bahan pendingin. Gambar 6 menampilkan sensor tekanan yang digunakan untuk memantau tekanan air dalam sistem. Sensor ini mengubah besaran tekanan menjadi sinyal listrik yang kemudian diproses oleh PLC untuk dijadikan dasar pengendalian pompa maupun katup.



Gambar 6. Pressure Sensor Sistem PCW

7. Temperature Sensor

Coolant Temperature Sensor (CTS) atau *Water Temperature Sensor* (WTS) adalah sensor untuk mengetahui kondisi air pendingin (Khetabi et al., 2025). *Temperature Sensor* mengubah *temperature* fisik dari fluida menjadi sinyal listrik yang proporsional dengan *temperature*. Sinyal yang dihasilkan oleh sensor temperatur dikirimkan ke unit *control*. Gambar 7 memperlihatkan sensor suhu yang digunakan untuk mengukur temperatur air pendingin. Sensor ini mengonversi suhu aktual menjadi sinyal listrik yang dikirim ke unit kontrol, sehingga sistem dapat menyesuaikan operasi pompa dan katup.



Gambar 7. Temperature Sensor Sistem PCW

8. Water Level Control

Water level control memantau dan mengatur level air pada *water tank* untuk memastikan tetap berada dalam rentang aman. Jika level air terlalu rendah, maka level kontrol memberikan sinyal untuk mengisi ulang air dengan SINYAL "*Low Level*" pada tampilan HMI. Dengan menjaga level air yang stabil membantu memastikan pompa, *chiller*, *motorize valve*, *heat exchanger* dalam sistem bekerja optimal tanpa risiko kerusakan akibat kurangnya air. Jenis *water level* yang digunakan yaitu *water level control* Kasuga TBL-12. Gambar 8 menunjukkan perangkat *water level control* yang berfungsi menjaga ketinggian air dalam tangki tetap berada dalam batas aman. Jika air kurang, sensor akan memberi sinyal peringatan pada HMI untuk mengisi ulang, sehingga mencegah kerusakan akibat kekurangan air.

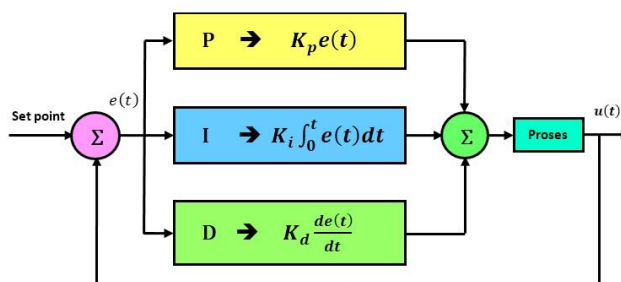
Gambar 8. *Water Level Control Sistem PCW*

B. Sistem Kontrol

Sistem kontrol yang digunakan untuk mengatur nilai *pressure* dan *temperature*, yaitu kontrol PID untuk dua pompa, dan kontrol PID untuk katup kontrol (*motorize valve*). Gambar 8 Menunjukkan tampilan antarmuka pengguna HMI yang menampilkan *Single Line Diagram (SLD)* dari sistem *Process Chilled Water (PCW)*. Tampilan ini memberikan informasi secara *real-time* mengenai status pompa, katup, motorisasi, tekanan, dan aliran air dalam sistem. Antarmuka ini menjadi alat vital bagi operator dalam memantau, mengendalikan, dan mengatur sistem secara efisien serta mendeteksi kegagalan dengan cepat. Gambar 9 memperlihatkan tampilan HMI berupa *single line diagram (SLD)* dari sistem PCW. Diagram ini menampilkan status *real-time* pompa, katup, aliran air, dan parameter tekanan serta temperatur, sehingga operator dapat memantau kondisi sistem secara cepat dan akurat.

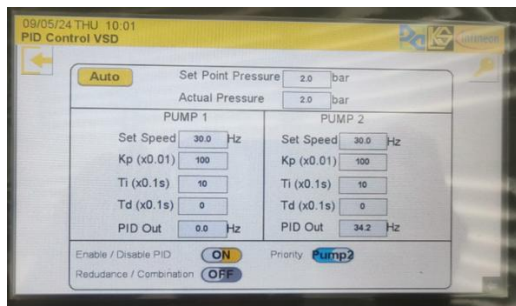
Gambar 9. *Single Line Diagram (SLD) Sistem PCW*

Sistem kendali PID merupakan sistem kendali *loop* tertutup yang cukup sederhana dan memiliki performa yang bagus. Namun kendali ini tidak dapat bekerja dengan baik apabila terjadi ketidakpastian dan ketidaklinearan pada sistem. Sistem kendali PID terdiri dari tiga macam kendali, yaitu kendali P (*Proportional*), D (*Derivatif*) dan I (*Integral*), dengan masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan (Zhao & Guo, 2021). Gambar 10 menampilkan diagram blok kendali PID yang digunakan dalam sistem PCW. Diagram ini menjelaskan hubungan antara setpoint (tekanan atau suhu yang diinginkan), variabel proses aktual, serta sinyal koreksi yang dikirim ke aktuator melalui PID.

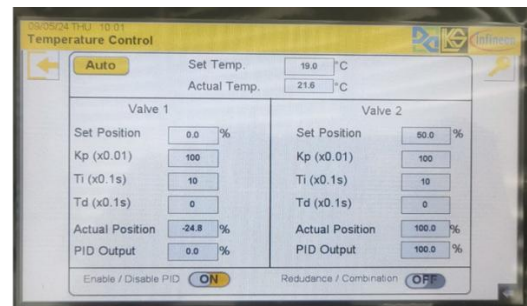
Gambar 10. *Diagram Blok Sistem Kendali PID*

Sistem kontrol yang digunakan untuk mengatur kedua pompa dalam sistem chilled water adalah PID yang terhubung dengan *Variable Speed Drive* (VSD) untuk mengatur kecepatan pompa secara otomatis. Fokus utama dari sistem ini adalah bagaimana PID dapat mengendalikan pompa agar mencapai target tekanan yang diinginkan (*setpoint pressure*). VSD bekerja dengan cara mengubah frekuensi suplai listrik ke motor. Ketika sistem PID mendeteksi bahwa tekanan aktual lebih rendah dibandingkan setpoint, maka PID akan memberikan sinyal koreksi berupa peningkatan frekuensi kepada VSD. Akibatnya, motor berputar lebih cepat dan menghasilkan tekanan yang lebih tinggi. Sebaliknya, jika tekanan terlalu tinggi di atas *setpoint*, PID mengurangi sinyal ke VSD sehingga frekuensi menurun, motor melambat, dan tekanan sistem kembali turun. *Setpoint pressure* dalam sistem ini adalah target tekanan yang harus dipertahankan. Sistem PID bekerja dengan membandingkan nilai setpoint dengan tekanan aktual yang terbaca dari sensor. Selisih keduanya dihitung sebagai *error*, kemudian dikoreksi oleh PID melalui tiga aksi utama: *Proportional* (K_p) untuk merespon besar *error*, *Integral* (T_i) untuk memperbaiki *error* kumulatif, dan *Derivative* (T_d) untuk merespon perubahan *error* yang cepat, sehingga sistem tidak terlalu agresif.

Untuk katup kontrol, prinsip kerjanya sama, yaitu menggunakan PID untuk menyesuaikan posisi katup sehingga aliran air tetap sesuai dengan *setpoint*. PID menghitung error antara setpoint dan variabel proses aktual, lalu menghasilkan sinyal keluaran dalam bentuk listrik atau pneumatik yang dikirim ke aktuator katup. Posisi katup akan terus disesuaikan agar laju aliran air tetap stabil. Seperti ditunjukkan pada Gambar 11, input sistem kendali PID berasal dari sensor tekanan (*pressure sensor*) yang mengukur kondisi aktual sistem. *Output* kendali berupa frekuensi (Hz) yang dikirim ke VSD. Frekuensi ini digunakan untuk mengatur kecepatan motor pompa: semakin tinggi frekuensi maka putaran motor semakin cepat sehingga debit dan tekanan meningkat, sebaliknya semakin rendah frekuensi maka tekanan menurun. Dengan demikian, frekuensi pada keluaran PID bukan parameter akhir yang diamati, tetapi menjadi sinyal kendali utama yang menentukan performa pompa dalam menjaga tekanan sistem tetap stabil.



(a)



(b)

Gambar 11. Kontrol PID (a) PID untuk *Pump* (b) PID untuk *Motorize Valve*

C. Monitoring Sistem PCW

Kegiatan memonitor sistem PCW dilakukan dalam beberapa hari, kegiatan ini merupakan kegiatan mengawasi dan mengevaluasi kinerja serta kondisi sistem yang berfungsi untuk mendinginkan air yang akan digunakan untuk pendinginan mesin produksi PT. Infineon. Tabel 1 memperlihatkan kondisi sistem PCW pada tanggal 06 September 2024. Terlihat bahwa pompa 2 aktif pada pukul 14.18 meskipun tekanan masih berada di kisaran 2,1–2,2 bar. Hal ini menunjukkan bahwa logika kontrol tidak hanya bergantung pada nilai tekanan, tetapi juga mempertimbangkan kondisi temperatur aktual. Artinya, meskipun tekanan belum mencapai 2,5 bar, pompa dapat tetap aktif untuk menjaga kestabilan pendinginan.

Tabel 1. Monitoring Sistem PCW pada 06 September 2024

Jam	HMI		Sensor (Aktual)		Kondisi
	Temperatur (°C)	Pressure (bar)	Temperatur	Pressure (bar)	
09.41	23	0	24	0	Pump 2 OFF
14.18	19	2.1	20	2.2	Pump 2 ON
15.38	19	0	20	0	Pump 2 OFF

Tabel 2 menunjukkan hasil monitoring PCW pada tanggal 18 September 2024 dengan kondisi yang lebih bervariasi. Pompa 1 dan 2 mulai aktif saat tekanan mencapai 2,6 bar pada pukul 08.21 dan tetap menyala meskipun pada pukul 09.41 tekanan turun hingga 1,5 bar. Hal ini mengindikasikan adanya respon sistem yang mempertahankan pompa tetap bekerja berdasarkan kombinasi suhu aktual (sekitar 16 °C) dan tekanan, serta adanya hysteresis pada kontrol agar pompa tidak terlalu sering *ON–OFF*.

Tabel 2. Monitoring Sistem PCW pada 18 September 2024

Jam	HMI		Sensor (Aktual)		Kondisi
	Temperatur (°C)	Pressure (bar)	Temperatur	Pressure (bar)	
08.00	-	-	20	0	Pump 1,2 <i>OFF</i>
08.21	-	-	18	2.6	Pump 1,2 <i>ON</i>
08.35	17.8	2.5	17.8	2.6	Pump 1,2 <i>ON</i>
08.52	17.2	2.5	16.2	2.6	Pump 1,2 <i>ON</i>
09.15	16.8	2.5	16	2.6	Pump 1,2 <i>ON</i>
09.41	16.2	1.5	15	1.6	Pump 1,2 <i>ON</i>
09.50	16	2	15	2.1	Pump 1,2 <i>ON</i>
09.58	15.9	2.5	15	2.6	Pump 1,2 <i>ON</i>
10.37	15.8	3	15	3.2	Pump 1,2 <i>ON</i>

Tabel 3. menampilkan data monitoring pada 19 September 2024. Terlihat bahwa kedua pompa aktif ketika tekanan mencapai 2,8–2,9 bar dan temperatur aktual turun hingga 15 °C. Data ini mendukung logika kerja bahwa pompa akan aktif secara otomatis jika kebutuhan pendinginan tinggi, yaitu ketika suhu mendekati batas minimum dan tekanan sistem cukup stabil.

Tabel 3. Monitoring Sistem PCW pada 19 September 2024

Jam	HMI		Sensor (Aktual)		Kondisi
	Temperatur (°C)	Pressure (bar)	Temperatur	Pressure (bar)	
07.54	19	0	18	0	Pump <i>OFF</i>
08.11	16	2.8	15	2.8	Pump 1,2 <i>ON</i>
08.35	15	2.9	14	2.8	Pump 1,2 <i>ON</i>

Tabel 4. menunjukkan hubungan antara setpoint tekanan dengan output frekuensi PID pada pompa 1 dan 2. Saat setpoint tekanan dinaikkan dari 1,5 bar ke 2,5 bar, frekuensi output juga meningkat dari 32,7 Hz menjadi 42,9 Hz. Hal ini membuktikan bahwa PID mengatur sinyal keluaran dalam bentuk frekuensi yang dikirim ke VSD, sehingga kecepatan pompa dapat menyesuaikan untuk mencapai tekanan yang diinginkan.

Tabel 3. Hasil Pengujian Pressure

SetPoint Pressure (Bar)	PID Out Pump 1 (Hz)	PID Out Pump 2 (Hz)
1.5	32.7	32.7
2	37.9	37.9
2.5	42.9	42.9
3	39.9	39.9

Berdasarkan hasil skenario pengujian yang dilakukan pada sistem PCW di PT. Infineon, diperoleh data temperatur dan tekanan dari sensor aktual maupun HMI dalam berbagai kondisi operasional pompa. Saat tekanan berada di atas 2,5 bar dan temperatur aktual turun hingga 15 °C, kedua pompa aktif. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem kontrol merespons kebutuhan pendinginan dengan mengaktifkan pompa secara otomatis. Sebaliknya, saat tekanan turun ke 0 bar dan temperatur naik hingga 20 °C, sistem mematikan pompa secara otomatis. Terdapat konsistensi bahwa kombinasi parameter temperatur dan tekanan menjadi dasar logika kerja pompa. Ketika temperatur mencapai batas minimal dan tekanan sistem stabil antara 2,5–3,2 bar, pompa tetap dipertahankan aktif untuk menjaga kestabilan proses pendinginan. Sebaliknya, penurunan tekanan disertai kenaikan temperatur menyebabkan pompa dinonaktifkan sebagai bentuk efisiensi energi.

Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3 terlihat kondisi pompa tetap aktif meskipun tekanan berada sedikit di bawah 2,5 bar (misalnya 2,1 bar). Hal ini dapat dijelaskan oleh dua hal. Pertama, sistem kontrol tidak hanya bergantung pada nilai tekanan, tetapi juga mempertimbangkan temperatur aktual. Apabila temperatur mendekati batas bawah (sekitar 15–16 °C), pompa tetap dijaga dalam kondisi aktif meskipun tekanan sedikit menurun. Kedua, adanya *hysteresis* dalam logika kontrol membuat pompa tidak langsung mati ketika tekanan sesaat turun di bawah setpoint. Strategi ini penting untuk mencegah siklus *ON–OFF* yang terlalu sering akibat fluktuasi kecil sensor, sehingga kinerja sistem tetap stabil dan lebih hemat energi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kontrol PID pada PCW di PT. Infineon mampu menjaga tekanan pada rentang 2,5–3,2 bar dan temperatur dalam kisaran 15–23 °C dengan respon yang cepat terhadap perubahan kondisi. Temuan ini konsisten dengan penelitian Cui et al. (2022) yang melaporkan bahwa penerapan PID berbasis gain scheduling dapat mempertahankan kestabilan temperatur pada sistem termal. Selain itu, hasil monitoring yang menunjukkan efisiensi energi melalui penggunaan VSD sejalan dengan penelitian Kim et al. (2021) dan Dos

Santos et al. (2022) yang menekankan bahwa optimasi suhu air dingin dan kontrol kecepatan pompa dapat mengurangi konsumsi energi sistem pendingin secara signifikan. Hal ini membuktikan bahwa integrasi PID dengan VSD pada PCW tidak hanya menjaga kestabilan operasional tetapi juga mendukung efisiensi energi.

Hasil ini konsisten dengan temuan Cui et al. (2022) yang menekankan bahwa kendali PID mampu menjaga kestabilan variabel proses meskipun terdapat fluktuasi pada parameter input. Temuan lain yang mendukung adalah penelitian Kim et al. (2021) dan Dos Santos et al. (2022) yang menunjukkan bahwa integrasi kontrol pompa dengan VSD dapat meningkatkan efisiensi energi pada sistem pendingin. Selain itu, penggunaan HMI dalam penelitian ini terbukti membantu monitoring real-time dan memudahkan pengambilan keputusan operator, sesuai dengan laporan Vasantharaj et al. (2025) mengenai efektivitas HMI dalam mengurangi kesalahan manusia pada sistem kontrol industri.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol otomatis pada unit Process Chilled Water (PCW) di PT. Infineon berfungsi secara efektif dan efisien dalam mengatur suhu dan tekanan pendinginan. Implementasi kontrol *Proportional-Integral-Derivative* (PID) terbukti mampu menjaga stabilitas sistem dalam rentang suhu 15°C hingga 23°C dan tekanan antara 2,5 hingga 3,2 bar. Sistem ini secara otomatis mengaktifkan atau menonaktifkan pompa berdasarkan kombinasi input dari sensor tekanan dan suhu, yang menunjukkan kemampuan untuk merespons perubahan kondisi dengan cepat dan akurat. Selain itu, tampilan *Human-Machine Interface* (HMI) mempermudah pemantauan status operasional dan pengambilan keputusan oleh operator, sehingga meningkatkan keseluruhan efisiensi dan efektivitas sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A. H., et al. (2019). *Optimizing chilled water system performance in semiconductor manufacturing*. Journal of Cleaner Production, 215, 1090–1099.
- Al-Badri, A., Khalil, S., & Hassan, M. (2022). Improving chiller stability and performance using variable-speed compressors with PID and fuzzy control. *Energies*, 15(14), 5147. <https://doi.org/10.3390/en15145147>
- Arifin, Z., et al. (2021). *Variable Speed Drive application for energy savings in industrial pumping systems*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1098, 042034.
- Banaulikar, A. (2020). Real Time Monitoring and Control for Industrial Automation using PLC. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 8(7), 1193–1200. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2020.30453>
- Cui, X., Xu, P., Song, G., Gu, H., Gu, H., & Wang, L. (2022). *PID Control of a Superheated Steam Temperature System Based on Integral Gain Scheduling*. 1–16.
- Dos Santos, C. G., Ruivo, J. P., Gasparini, L. B., Rosa, M. T. D. M. G., Odloak, D., & Tvrzská De Gouvêa, M. (2022). Steady-state simulation and optimization of an air cooled chiller. *Case Studies in Thermal Engineering*, 36(January). <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102142>
- Huong, P. T. T., Hong, H. M., & Anh, L. N. (2021). The effect of the chilled water temperature on the performance of an experimental air-cooled chiller. *Vietnam Journal of Mechanics*, January. <https://doi.org/10.15625/0866-7136/15054>
- Khetabi, E. M., Bouziane, K., François, X., Lachat, R., Meyer, Y., & Candusso, D. (2025). Analysis of local current density, temperature, and mechanical pressure distributions in an operating PEMFC under variable compression. *Applied Energy*, 394(May), 126187. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.126187>
- Jiang, Y., Chen, W., & Yang, Z. (2011). Optimal control strategy of variable speed drive in chiller plants. *Frontiers of Mechanical Engineering in China*, 6(3), 279–285. <https://doi.org/10.1007/s11771-011-0733-3>
- Kim, Y.-J., Ha, J.-W., Park, K.-S., & Song, Y.-H. (2021). A Study on the Energy Reduction Measures of Data Centers through Chilled Water Temperature Control and Water-Side Economizer. *Energies*, 14(12), 3575. <https://doi.org/10.3390/en14123575>

- Ko, J., Huh, J., & Kim, J. (2019). *Improvement of Energy Efficiency and Control Performance of Cooling System Fan Applied to*. 1–27.
- Lee, J., & Cho, Y. (2020). *Model predictive control of chilled water plants for improved energy efficiency*. *Applied Thermal Engineering*, 174, 115275.
- Mehta, N., et al. *Design of HMI Based on PID Control of Temperature*. IJERT (2017).
- Mokhtar, A., et al. (2020). *Energy efficiency improvement in chilled water systems using advanced control strategies*. *Energy Reports*, 6, 238–247.
- Otomasi, J., Azizah, A., Wardhana, A. S., Hamdani, C. N., Kilang, I., & Blora, K. (2021). *Pengujian Sistem Pengendalian Temperatur pada Prototipe Heat exchanger Berbasis PID*. 13(2), 81–91.
- Pariotis, E., Tsoutsanis, E., & Lazakis, I. (2019). Integration of variable speed drive pumps in marine cooling systems. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(8), 253. <https://doi.org/10.3390/jmse7080253>
- Song, Y., & Zhao, X. (2018). Power characteristics of frequency-converted cooling water systems. *Building Services Engineering Research and Technology*, 39(1), 52–67. <https://doi.org/10.1177/0143624417733364>
- Sulaiman, M., et al. (2023). *Integration of PID control and SCADA for HVAC and chilled water systems*. *Journal of Building Engineering*, 62, 105436.
- Sumeru, K., Pramudantoro, T. P., Badarudin, A., Setyawan, A., Sumeru, H. A., Sukri, M. F. bin, & Sulaimon, S. (2024). Performance evaluation of a central air conditioning system using condensate as a discharge line cooler. *Case Studies in Thermal Engineering*, 63(July), 105310. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.105310>
- Vasantharaj, A., Divyabashini, B., Keerthana, C., & Gowri, M. (2025). *Industrial Process Monitoring and Control Interface using HMI (Human-Machine Interface)*. *Icsice* 24, 1594–1607. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-718-2_133
- Zhang, Z., Zhao, W., Ma, Y., Yao, Y., Yu, T., Zhang, W., Guo, H., Duan, X., Yan, R., Xu, D., & Chen, M. (2025). A flexible integrated temperature-pressure sensor for wearable detection of thermal runaway in lithium batteries. *Applied Energy*, 381(August 2024), 125191. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.125191>
- Zhao, C., & Guo, L. (2021). Control of Nonlinear Uncertain Systems by Extended PID. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 66(8), 3840–3847. <https://doi.org/10.1109/TAC.2020.3030876>