

## Implementasi Metode PID dalam Sistem Kendali Temperatur Pada Ruang Produksi “Clean Room” Berbasis IOT

Rifky Adji Fadlani

Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknik Elektronika,

Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Email: [rifkyadjif@gmail.com](mailto:rifkyadjif@gmail.com)

**Abstract.** A clean room is a clean room free from dust and air which can affect product quality. Factors that influence product quality are temperature, humidity and air particles. The condition of the cleanroom cannot be guaranteed to be clean and sterile at all times without a control system. Therefore, a tool was developed that can monitor, control and provide warnings if the room is not in suitable condition. In this research, the PID method was used using the split range control method to control temperature and particles to help optimize the temperature and particle control process. SHT30 sensor for temperature and humidity detection. PMS5003 sensor for air particle detection. The results of sensor detection can be monitored on the website and LCD. The output from the control system will regulate the speed of the blower motor, regulate the temperature and turn on fogging to reduce particles in the air. So the PID method with the split range control method is used as an appropriate temperature control system, so that the temperature and air particles remain in a stable condition. The results of the humidity percentage error are 1.43% and the temperature error is 1.14%, PMS5003 produces errors for particles with a size of 0.1, namely 2.3%, 0.5, namely 5.3%, 1, namely 4.2%, and 5 which is 4%. The PID control system takes approximately 885 seconds to reach 100% setpoint..

**Keywords:** PID method, Split Range Control, PMS5003, SHT 30, cleanroom

**Abstrak.** Clean room adalah ruangan bersih terbebas dari debu dan udara yang dapat mempengaruhi kualitas produk. Faktor yang mempengaruhi kualitas produk yaitu suhu, kelembaban, dan partikel udara. Kondisi cleanroom tersebut tidak dapat dipastikan dalam keadaan bersih dan steril setiap saat tanpa adanya sistem kendali. Oleh karena itu, dikembangkan sebuah alat dapat memantau, mengontrol, dan memberikan peringatan apabila ruangan tersebut tidak dalam kondisi sesuai. Pada penelitian ini menggunakan metode PID dengan menggunakan metode *split range control* sebagai pengendalian temperatur dan partikel membantu mengoptimalkan proses pengontrolan suhu serta partikel. Sensor SHT30 sebagai deteksi suhu serta kelembaban. Sensor PMS5003 sebagai deteksi partikel udara. Hasil dari deteksi sensor dapat di monitoring pada website serta LCD. Output dari sistem kendali yaitu akan mengatur kecepatan motor blower mengatur temperature dan akan menyalakan fogging untuk mengurangi partikel dalam udara. Sehingga metode PID dengan metode *split range control* digunakan sebagai system kendali temperatur yang tepat, agar suhu dan partikel udara tetap berada pada kondisi yang stabil. Hasil persentase error kelembaban yaitu 1,43% dan error suhu 1,14%, PMS5003 menghasilkan error untuk partikel dengan ukuran 0,1 yaitu 2,3%, 0,5 yaitu 5,3 %, 1 yaitu 4,2%, dan 5 yaitu 4%. Sistem kendali PID membutuhkan waktu sekitar 885 detik untuk mencapai 100% setpoint.

**Kata kunci:** Metode PID, Split Range Control, PMS5003, SHT30, ruang bersih

### 1. LATAR BELAKANG

Clean room adalah ruangan yang terkontrol jumlah partikel dan mikrobiologinya. Beberapa parameter kritis untuk fasilitas clean room yaitu suhu, kelembaban relatif, perbedaan tekanan antar ruang, jumlah partikel, dan jumlah mikrobiologi (Amal Rezka Putra *et al.*, 2018:8). Clean room dalam lingkup kerja atau lingkungan yang biasa digunakan di industri manufaktur, termasuk pabrik yang menghasilkan produk. Produk yang dihasilkan harus memiliki kondisi baik, namun kondisi produk yang baik dipengaruhi oleh kondisi dalam ruangan. Kondisi clean room berdasarkan tingkat

partikel, suhu, dan kelembaban ruang mempengaruhi kualitas proses dan produk yang dihasilkan. Namun, pengendalian kondisi partikel, suhu, dan kelembaban ruang dapat dilakukan dengan menggunakan sistem kendali otomatis. Hal tersebut menguntungkan kehidupan masyarakat selain untuk mempercepat proses kerja, sistem kendali otomatis dapat mengurangi kesalahan yang disebabkan oleh manusia (*human error*).

Salah satu pengaruh dalam *clean room* yaitu partikel polutan *PM 2.5* udara di dalam ruangan yang berukuran sangat kecil sekitar 2.5 mikron, partikel ini berbentuk seperti debu, kotoran, jelaga, dan asap. Partikel *PM 2.5* dapat menyebabkan berbagai gangguan pernafasan. Untuk mengetahui kualitas udara, pada penelitian ini dikembangkan *air purifier* yang dapat memantau partikel *PM 2.5* dan membersihkan udara (Hery & Medilla, 2023:88). *Particulate Matter* (PM) adalah zat polusi udara yang berada di sekitar manusia baik di dalam ruangan maupun di luar ruangan. Manusia tidak dapat melihat ataupun mengetahui kadar partikel polusi di udara serta kualitas udara tanpa alat bantu (Zulhelman & Dwi Arif Wisesa, 2021:58). Dampak yang ditimbulkan pencemaran udara ternyata sangat merugikan manusia berbagai jenis penyakit yang dapat ditimbulkan pada manusia dari pencemar udara diatas seperti infeksi saluran pernafasan atas, paru paru jadi rusak, hipertensi, jantung, kanker. Perlu dilakukan adanya alat yang dapat memantau kondisi kualitas udara yang meliputi gas karbon monoksida, dan partikulat debu (PM10) yang sesuai dengan ISPU (Indeks Standar Pencemaran Udara) (Ratna Kurniasih & Istiqomah Sumadikarta, 2021:217). Penerapan sensor juga belum sesuai dengan indeks standar pencemaran udara. Partikel dalam ruangan yang berlebihan dapat merugikan kualitas produk dengan merambah dan mencemari lingkungan produksi.

Selain partikel, perubahan suhu mempengaruhi kualitas udara dalam ruangan. Suhu udara yang terlalu tinggi maupun terlalu rendah dapat menyebabkan kondisi produk dalam ruangan tidak terjamin kualitasnya. Penelitian akan membahas dan melakukan analisis data node sensor menggunakan beberapa jenis sensor suhu dan kelembaban berbasis *Internet of Things*. Sensor SHT30 bekerja paling baik dalam pengukuran suhu dengan rata rata kesalahan yang paling kecil yaitu 0,043C dan tingkat keakuratan pengukuran suhu paling tinggi sebesar 99,76% serta bekerja paling baik dalam pengukuran kelembaban dengan rata - rata kesalahan paling kecil yaitu 2,76% dan tingkat keakuratan pengukuran paling tinggi sebesar 95,49% dibandingkan dengan sensor DHT11 dan DHT22 (Sindung HW Sasono *et al.*, 2020:53).

Pengontrol suhu dan kelembaban udara menggunakan Raspberry Pi, motor DC, SHT30, *limit switch*, *Fan* dan Solenoid door lock. Sistem bekerja ketika mendapat input perintah dari user baik untuk membuka atap, menutup atap, maupun mengukur dan mengontrol suhu dan kelembaban di dalam rumah teleskop. Saat mendapat perintah buka atau tutup maka relay akan aktif sehingga motor akan membuka ataupun menutup atap. Demikian juga saat pengontrolan suhu dan kelembaban SHT akan mengukur suhu dan kelembaban dan hasil pengukurannya akan ditampilkan pada LCD (Layar Monitor). Sistem otomatisasi ini dapat bekerja dengan baik seperti yang diharapkan, baik dalam hal membuka dan menutup atap serta pengontrolan Suhu dan Kelembaban (Melkianus Dona *et al.*, 2018:163). Kondisi aktual saat ini pengecekan jumlah partikel pada ruang *clean room* tidak dilakukan setiap hari melainkan setahun sekali, hal tersebut mengakibatkan kondisi ruang tidak diketahui tingkat kesterilan pada waktu tertentu dan tidak dapat memastikan kondisi ruang selalu dalam keadaan bersih setiap saat meskipun dilakukan *preventive cleaning* maupun *fogging* setiap hari tetapi tidak bisa dipastikan kondisi *clean room* tetap steril. Oleh karena itu dibutuhkan sistem kendali menggunakan metode PID dengan *split range control* untuk membantu mengoptimalkan proses pengontrolan suhu. Pemantauan hasil menggunakan *website* yang dilengkapi alarm. Metode PID tersebut merupakan salah satu metode kontrol yang digunakan karena keahlian dalam menstabilkan suatu sistem. Menstabilkan sistemnya, kendali PID memerlukan deteksi *error* yang kemudian diubah menjadi respon sistem sehingga sistem tersebut dapat stabil secara otomatis.

Sensor PMS5003 digunakan sebagai deteksi partikel udara dan menggunakan sensor SHT30 sebagai deteksi suhu dan kelembaban sehingga hasil dari kedua sensor tersebut dapat di monitoring setiap hari untuk memastikan ruangan selalu dalam keadaan steril. *Output* dari sistem yaitu akan mengatur kecepatan motor *blower* guna mengatur suhu dalam ruangan dan juga akan menyalakan *fogging* untuk mengurangi bioteknologi. Hal tersebut dapat mempercepat dalam proses aktivitas *fogging* yang biasanya masih menggunakan cara manual.

## **2. KAJIAN TEORITIS**

*Clean room* adalah ruangan yang dirancang untuk menjaga kebersihan tingkat tinggi dengan mengontrol partikel udara, suhu, kelembaban, dan tekanan udara, serta mencegah kontaminasi dari sumber eksternal dan internal. Ruangan ini sering digunakan

dalam industri yang membutuhkan lingkungan bebas partikel. *Clean room* dirancang secara khusus untuk mengendalikan dan mengurangi kontaminasi partikel dengan pengaturan ketat terhadap lingkungan, seperti laju dan arah aliran udara, tekanan, temperatur, kelembaban, dan penyaringan udara. Pengendalian partikel kontaminan sangat penting dalam clean room, sehingga parameternya berbeda dari ruang ber-AC biasa.

Penelitian Gunawan Refiadi *et al.*, (2016) menjelaskan bahwa *cleanroom* adalah ruangan 'bersih' yang dibuat dan dikontrol secara khusus untuk meminimalkan tingkat partikulat yang berpengaruh pada kualitas proses dan produk. Untuk otomatisasi kontrol parameter cleanroom telah disarankan penggunaan instrumentasi yang berfungsi baik sebagai sensor, controller, transducer, maupun regulator. Ruangan pada umumnya memiliki rentan udara yang normal dengan suhu ruang yang disesuaikan dengan iklim atau cuaca yang terjadi. Namun, ada pula ruangan yang sengaja didesain khusus untuk mengendalikan suhu, kelembaban, serta partikel dalam udaranya. (Gunawan Refiadi *et al.*, 2016)

Sindung HW Sasono *et al.* (2020) menyatakan sensor SHT30 bekerja paling baik dalam pengukuran suhu dengan rata-rata kesalahan yang paling kecil yaitu 0,0430C dan tingkat keakuratan pengukuran suhu paling tinggi sebesar 99,76% serta bekerja paling baik dalam pengukuran kelembaban dengan rata - rata kesalahan paling kecil yaitu 2,76% dan tingkat keakuratan pengukuran paling tinggi sebesar 95,49% dibandingkan dengan sensor DHT11 dan DHT22. Kelemahan dari penelitian ini sistem kontrol hanya bisa digunakan pada merk AC tertentu yaitu Panasonic dan National maka perlu dikembangkan lagi untuk remote AC lain.

Melkianus Dona *et al.* (2018) menggunakan sistem yang bekerja ketika mendapat input perintah dari user baik untuk membuka atap, menutup atap, maupun mengukur dan mengontrol suhu dan kelembaban di dalam rumah teleskop. Kelembaban dan suhu di dalam rumah teleskop dapat diukur dan dikontrol dengan baik menggunakan sensor SHT30. Saat mendapat perintah buka atau tutup maka relay akan aktif sehingga motor akan membuka ataupun menutup atap. Demikian juga saat pengontrolan suhu dan kelembaban akan mengukur suhu dan kelembaban dan hasil pengukurannya akan ditampilkan pada LCD (Layar Monitor). Kelemahan dari penelitian tersebut yaitu tidak dapat dikontrol melalui jarak jauh. Amal Rezka Putra *et al.* (2018) mengatakan bahwa posisi penempatan sensor *particle counter* yang ideal dapat dipertimbangkan dengan

beberapa parameter yaitu tren data hasil pemantauan, luas area, aktivitas produksi, dan risiko terhadap produk. Kajian penentuan titik “particle counter” dilakukan pada 8 titik kelas A dan 5 titik kelas B. Berdasarkan hasil pemantauan dan kajian yang telah dilakukan penempatan sensor “particle counter” ideal pada kelas A sangat cocok dipasang pada titik A8 ( $0,5 \mu\text{m} = 11.029,3$  partikel;  $5 \mu\text{m} = 4.905,0$  partikel), sedangkan pada kelas B karena posisi sensor tidak memungkinkan dipasang pada titik B4 maka posisi yang ideal yaitu pada titik B3 ( $0,5 \mu\text{m} = 4.522,3$  partikel;  $5 \mu\text{m} = 58,3$  partikel).

Pada penelitian Dyah Aruning Tyas dan Raden Sumiharto (2013) bertujuan untuk mengendalikan heater dan kipas ventilasi ini digunakan kendali PID yang diimplementasikan melalui LabVIEW. Pada sistem pengendalian suhu ruang ini digunakan tiga buah sensor suhu LM35. Ketiga sensor suhu tersebut diletakkan pada posisi yang berbeda di dalam plant untuk mengetahui penyebaran suhu yang terjadi pada plant. Salah satu sensor tersebut selain untuk mengetahui persebaran suhu juga digunakan sebagai feedback. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa respon plant adalah osilasi kontinyu dan bisa diatasi dengan menggunakan penalaan osilasi kontinyu Ziegler-Nichols. Dengan menggunakan kendali PID pada LabVIEW dan penalaan parameter menggunakan metode Ziegler-Nichols, untuk set point suhu  $40^{\circ}\text{C}$  didapatkan respon plant sebesar  $(40 \pm 0,5)$  oC. Dengan kata lain pengendalian suhu menggunakan kendali PID dan metode Ziegler-Nichols memiliki error dibawah 2% yang menunjukkan bahwa sistem kendali suhu ini layak untuk digunakan (Dyah Aruning Tyas dan Raden Sumiharto, 2013).

Penelitian Ade Rachmawan, Syahri Muharom (2021) bertujuan untuk memperoleh hasil dan kualitas produk yang baik membutuhkan tata letak panel sistem kontrol yang baik dan benar. Sistem yang di rancang ini menggunakan metode PID untuk mempercepat respon sistem agar mencapai set point suhu yang sudah di tetapkan pada suhu  $27^{\circ}\text{C}$ . Dari hasil pengujian PID di dapatkan hasil dengan nilai parameter tuning terbaik pada nilai  $K_p = 6$ ,  $K_i = 0,4$ , serta  $K_d = 0,4$ . Dari pengujian PID tersebut di dapatkan hasil pengujian terbaik dengan waktu Rise Time 21 menit, dan overshoot sebesar 3,1%, dan waktu setling time 28 menit, dengan mencapai error steady state sebesar 0,1% dari set point suhu. Presentase keberhasilan sistem untuk mencapai error steady state sebesar 88,9%, dengan rata-rata waktu rise time selama 25,7 menit, dan nilai rata-rata overshoot sebesar 6,2%, rata-rata waktu setling time 34,2 menit, serta nilai rata-rata error steady state sebesar 0,3% (Ade Rachmawan dan Syahri Muharom, 2021)

Berdasarkan kajian pustaka di atas, penelitian skripsi ini bertujuan untuk mengimplementasikan PID dalam sistem kendali temperature menggunakan split range control. Penelitian skripsi ini akan mengadaptasi metode dan teknologi dari penelitian sebelumnya untuk memperoleh hasil yang optimal dalam sistem kendali temperature pada ruang clean room. Penggunaan sensor yang tepat, kombinasi metode PID, dan penerapan split range control diharapkan dapat meningkatkan akurasi dan efektivitas sistem yang dikembangkan. Selain penelitian skripsi ini bertujuan untuk mengimplementasikan PID dalam sistem kendali temperature menggunakan split range control. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengontrol jumlah partikel pada ruang clean room.

### 3. METODE PENELITIAN

Tahap pertama, harus menentukan perumusan masalah yang akan dibahas. Setelah menentukan perumusan masalah, kemudian mencari studi literatur mengenai apa yang dibahas seperti SHT 30, PMS5003, ESP32, dan lainlain. Kemudian, membuat perancangan sistem mekanik dengan membuat desain 3D sebagai gambaran awal dari pembentukan tug. Setelah itu, membuat perancangan elektronik dengan merangkai rangkaian seperti SHT 30, PMS5003, ESP32, MCP4725, dan lain-lain. Kemudian membuat PID pada kendali alat. Setelah membuat perancangan dari sistem mekanik hingga perangkat lunak, selanjutnya merakit alat kemudian dilakukan pengujian alat secara keseluruhan. Apabila hasil pengujian tidak sesuai maka akan dilakukan perbaikan setelah itu diuji kembali dan apabila hasil pengujian sesuai maka dilakukan analisa. Setelah melakukan analisa, dilanjutkan membuat laporan akhir. bagian masukan terdapat sensor PMS5003 sebagai sensor partikel dan sensor SHT30 sebagai sensor suhu dan kelembaban yang dapat dijadikan nilai target pada kontrol suhu. Pada bagian proses terdapat Mikrokontroler ESP32 untuk memudahkan penggunaanya dalam mengendalikan komponen elektronika dengan program. Dan pada bagian keluaran terdapat internet yang diberikan oleh ESP32 untuk memonitor data melalui website dan whatsapp, terdapat output hardware berupa LCD untuk menampilkan data suhu dan kelembaban. Masukkan tegangan 220 V untuk keluaran *fogging* sedangkan masukan tegangan 3 phase untuk keluaran *blower*.

#### **4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pengujian dan analisis dilakukan untuk menganalisa apakah sistem telah bekerja sesuai perancangan.

##### **Pengujian Alat**

Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan alat tugas akhir yang dibuat, dan juga untuk mendapatkan data-data pengukuran yang akan dianalisis. Untuk itu perlu adanya optimasi dan kalibrasi instrumen yang harus disajikan dalam bagian ini jika sangat dibutuhkan agar menjamin validitas dan reliabilitas data yang dihasilkan

##### **Pengujian Sensor PMS5003**

Hasil pengujian partikel dengan sebuah sensor PMS5003 dan sebuah partikel counter. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dengan mencatat hasil partikel di setiap ukuran partikel yang diujikan. Nilai selisih dalam tabel yang dicatat adalah nilai absolut, artinya tidak memperhatikan apakah nilai selisih tersebut positif atau negatif. Sehingga, jika terdapat selisih partikel yang negatif, maka sebenarnya selisih tersebut lebih rendah dari nilai yang tercatat dalam tabel. Nilai error tersebut dihitung pada setiap ukuran partikel yaitu 0,3 , 0,5 , 1 , dan 5. Berikut adalah perhitungan nilai error Tempat pengujian sensor PMS5003 yaitu berada di dalam *clean room class* 100.000 atau *ISO 8*, dimana sesuai dengan *ISO 14644-1 Version 2015* yaitu tentang klasifikasi kebersihan Udara menurut konsentrasi partikel, kelas Iso 8 yang di ukur 0,5 ,1 dan 5  $\mu\text{m}$ . Pengujian sensor PMS5003 yang digunakan untuk mengetahui keakuratan sensor dibandingkan dengan alat ukur sebenarnya yaitu partikel counter. Data hasil perbandingan partikel counter dengan sensor PMS5003 memiliki error tinggi pada ukuran partikel 0,3 $\mu\text{m}$  pada pengujian ke 3 sebesar 6,9%. Pada pengukuran partikel ukuran 0,5 $\mu\text{m}$  memiliki error tertinggi pada pengujian pertama yaitu 9,6%. Pengujian partikel di ukuran 1 $\mu\text{m}$  terjadi error tertinggi pada pengujian ke 9 yaitu sebesar 9%. Sedangkan pada partikel ukuran 5 $\mu\text{m}$  terdapat error tertinggi pada pengujian ke pertama yaitu 9,4%. Pengujian partikel memiliki beberapa faktor yang mempengaruhi adanya persentase error yaitu kondisi lingkungan, dan kualitas udara secara keseluruhan. Lingkungan yang kotor atau debu yang berlebihan dapat mempengaruhi pembacaan sensor. Keakuratan sensor PMS5003 dengan perbandingan nilai dari setiap ukuran partikel dan tolak ukur partikel counter menghasilkan rata rata error untuk partikel dengan ukuran 0,1 yaitu 2,3 % , 0,5 yaitu 5,3 % , 1 yaitu 4,2%, dan 5 yaitu 4%. Hasil dari pengujian keempat ukuran tersebut memiliki

kategori persentase error yang sangat baik berdasarkan kategori range nilai MAPE pada Tabel 4.3. Sehingga data tersebut menunjukkan bahwa penggunaan sensor PMS5003 akurat sebagai pendeteksi partikel udara sangat efektif digunakan pada implementasinya.

### **Pengujian Sensor SHT30**

Hasil pengujian suhu dan kelembaban menggunakan sebuah sensor SHT30 dan sebuah alat sebagai tolak ukur yaitu *thermohygrometer*. Pengujian dilakukan sebanyak 25 kali dengan mencatat hasil setiap alat yang menampilkan suhu dan kelembaban diwaktu yang sama. Nilai error dalam tabel yang dicatat adalah nilai absolut, artinya tidak memperhatikan apakah nilai selisih tersebut positif atau negatif. Sehingga, jika terdapat selisih suhu atau kelembaban yang negatif, maka sebenarnya selisih tersebut lebih rendah dari nilai yang tercatat dalam tabel. Nilai error tersebut dihitung menggunakan perbandingan alat uji dan alat sebagai tolak ukur. Berikut adalah perhitungan nilai error, Hasil pengujian pada Tabel 4.2 dan perhitungan error yang dilakukan, dapat dilihat bahwa sensor bekerja dengan baik dibuktikan dengan perbandingan persentase error pengujian suhu maupun kelembaban. Perbandingan nilai dari SHT30 dan nilai *thermohygrometer* akan menghasilkan persentase error. Beberapa pengujian sensor memiliki error yang tinggi yaitu pengujian suhu ke 9 memiliki persentase error 2,23%. Sedangkan pengujian dengan error tertinggi untuk kelembaban terjadi pada pengujian ke 6 yaitu sebesar 3,94%. Persentase error tinggi terjadi disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya stabilitas, linieritas, dan sensitivitas sensor terhadap kondisi lingkungan atau variabel lain yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Pengaruh penyebaran udara atau *air conditioner* diiringi dengan suhu udara yang tidak menentu di dalam ruangan *clean room* pada saat pengujian sangat mempengaruhi data suhu dan kelembaban sehingga terjadi error dan nilai menjadi kurang akurat serta menciptakan nilai persentase error. Keakuratan sensor SHT 30 menghasilkan kategori sangat baik berdasarkan tabel *range* nilai MAPE pada Tabel 2.1 untuk error suhu dan kelembaban. Persentase error ini memberikan gambaran seberapa dekat hasil pengukuran sensor dengan nilai sebenarnya atau tolak ukur. Semakin kecil persentase error, semakin akurat sensor tersebut. Nilai persentase error suhu dan kelembaban tergolong kecil atau kurang dari 10% yaitu untuk suhu 1,14% dan kelembaban 1,43% menunjukkan bahwa sensor SHT30 dapat diandalkan dalam mengukur suhu dan kelembaban relatif pada implementasinya.



### **Pengujian ESP32**

Pada ESP32, tegangan referensi 5V (Vin) dan 3.3V adalah dua tegangan utama yang digunakan untuk operasi perangkat. Berikut adalah penjelasan tentang berbagai kondisi dan fungsi dari pin ESP32 : Sehingga dapat menghasilkan sinyal analog dengan rentang voltase tertentu untuk berbagai aplikasi seperti audio output atau kontrol perangkat yang membutuhkan sinyal analog. Pengujian ESP32 memiliki beberapa karakteristik diantaranya Vin, 3v3, GPIO, dan DAC. Vin merupakan sumber daya utama untuk ESP32. Karena ESP32 dapat beroperasi dalam rentang tegangan yang lebih luas (biasanya 5V hingga 12V tergantung pada board yang digunakan), Vin harus sesuai dengan spesifikasi yang disarankan untuk memastikan kinerja yang stabil dan dapat diandalkan dari ESP32. Tegangan 3.3V bekerja dengan tegangan logika 3.3V. Ini diperlukan untuk semua komponen internal ESP32 dan untuk interfacing dengan modul dan sensor yang juga memerlukan 3.3V. Keandalan dan kestabilan tegangan tersebut penting untuk mencegah gangguan dalam operasi sistem dan memastikan konsistensi dalam pengambilan data sensor. Pin GPIO pada ESP32 dapat dikonfigurasi sebagai input atau output digital. Sebagai output digital, dapat mengendalikan perangkat eksternal dengan mengubah tegangan antara 0V dan 3.3V. Kemampuan ini memungkinkan ESP32 untuk mengontrol berbagai peralatan, dari LED hingga motor atau perangkat lain yang membutuhkan kontrol digital. DAC pada ESP32 untuk menghasilkan sinyal analog dalam rentang tegangan 0V hingga 3.3V. DAC berguna untuk aplikasi yang memerlukan kontrol analog, seperti mengendalikan kecerahan lampu LED atau mengatur level volume pada speaker. Kemampuan DAC membuat ESP32 menjadi pilihan yang kuat untuk aplikasi yang memerlukan kemampuan pengolahan sinyal analog yang fleksibel.

### **Pengujian LCD**

Pengujian LCD ini dilakukan untuk memastikan bahwa LCD berfungsi dengan baik.

No	Kondisi Relay	Fogging
1	NO	Mati
2	NC	Hidup

**Gambar 1 Hasil Pengujian LCD**

1. LCD karakter 20x4 telah terbukti dapat berfungsi dengan stabil dan dapat diandalkan dalam menampilkan informasi pada yang diharapkan.

2. Integrasi yang baik antara LCD dan mikrokontroler ESP32 menjamin kinerja responsif dan akurat dari sistem keseluruhan.
3. Tidak ditemukan masalah atau kegagalan yang signifikan selama pengujian, mengindikasikan bahwa LCD siap untuk digunakan dalam implementasi lebih lanjut.

Pengujian LCD yang berhasil diselesaikan menunjukkan bahwa layar LCD dapat dengan jelas menampilkan teks dan karakter sesuai konfigurasi yang diinginkan. Tidak ada masalah besar yang terdeteksi selama pengujian, dan respons LCD terhadap perintah kontrol seperti pembersihan layar dan rotasi teks sangat baik. Keberhasilan menegaskan bahwa layar LCD dapat digunakan dalam sistem yang lebih kompleks, memastikan integritas dan kualitas tampilan informasi dalam aplikasi yang dimaksudkan

### Pengujian Relay

No	IN1	Kontak Relay	IN2	Kontak Relay
1	HIGH	NC	LOW	NO
2	LOW	NO	HIGH	NC

**Gambar 2 Hasil Pengujian Relay**

Hasil dari pengujian pada relay dengan dua keadaan yang berbeda untuk relay. berdasarkan dua input IN1 dan IN2 dan posisi kontak relay. Pada kondisi pertama input IN1 dalam keadaan HIGH kontak relay NC atau Normally Closed, sebaliknya jika IN2 dalam keadaan LOW maka kontak relay akan NO atau Normally Open. Sedangkan pada kondisi kedua input IN1 dalam keadaan LOW maka kontak relay akan NO dan input IN2 keadaan HIGH maka kontak relay akan NC. Pengujian relay menggunakan dua kondisi dimana memiliki input IN1 dan IN2. Pada kondisi pertama ketika input IN1 dalam keadaan HIGH, kontak relay berada dalam posisi Normally Closed (NC), sedangkan input IN2 berada dalam keadaan LOW sehingga kontak relay berada dalam posisi Normally Open (NO). Ini berarti ketika IN1 diaktifkan (HIGH), kontak relay akan tertutup secara default (NC), dan saat yang sama IN2 tidak aktif (LOW), kontak relay akan terbuka secara default (NO). Keadaan pada kondisi satu digunakan untuk memastikan hubungan sirkuit tertutup saat relay aktif dan terbuka saat relay tidak aktif. Kondisi kedua ketika input IN1 berada dalam keadaan LOW, kontak relay akan berada dalam posisi Normally Open (NO), sementara input IN2 berada dalam keadaan HIGH sehingga kontak relay berada dalam posisi Normally Closed (NC). Ini mengindikasikan

bahwa saat IN1 tidak aktif (LOW), kontak relay akan terbuka (NO), dan ketika IN2 aktif (HIGH), kontak relay akan tertutup (NC). Keadaan kondisi kedua ini digunakan untuk skenario dimana terdapat kebutuhan untuk memastikan hubungan sirkuit terbuka secara otomatis dan tertutup ketika relay diaktifkan. Kedua kondisi relay tersebut menggambarkan cara penggunaan relay dalam aplikasi kontrol dan otomatisasi. Relay digunakan untuk mengisolasi atau mengalihkan sirkuit listrik atau sinyal berdasarkan kondisi input. Kontak relay NC menghubungkan kabel ketika relay aktif (HIGH), sementara NO memutuskan koneksi. Sehingga pengujian relay dapat dipastikan bahwa berjalan dengan baik sesuai dengan yang diharapkan.

### **Pengujian Fogging**

Hasil pengujian fogging dimana hal tersebut memiliki dua kondisi yang berbeda. Kondisi Relay saat NO atau Normally Open maka fogging akan otomatis mati. Sebaliknya jika kondisi relay NC atau Normally Closed maka fogging dalam kondisi hidup atau aktif. Pengujian fogging terdapat kondisi relay yang berpengaruh terhadap pengoperasian fogging. Kondisi relay saat NO (Normally Open), fogging yang terhubung akan dalam kondisi mati atau tidak aktif. Posisi Normally Open pada relay berarti bahwa tidak ada hubungan listrik antara dua relay saat tidak diaktifkan. Ketika relay tidak aktif, tidak ada arus listrik yang mengalir melalui relay menuju perangkat fogging sehingga kondisi dimana fogging tidak beroperasi atau mati. Pada kondisi kedua relay NC (Normally Closed) maka fogging yang terhubung akan dalam keadaan hidup atau aktif. Posisi Normally Closed pada relay berarti bahwa ada hubungan listrik yang langsung antara relay ketika relay tidak diaktifkan. Sehingga pengontrolan fogging tersebut berarti bahwa ketika relay tidak aktif, hubungan listrik tetap terjaga, dan arus listrik dapat mengalir melalui relay menuju perangkat fogging. Sehingga fogging akan aktif atau hidup selama relay berada dalam kondisi NC. Penggunaan relay untuk mengatur apakah fogging akan hidup atau dimatikan tergantung pada posisi kontak relay (NC atau NO). Relay berpengaruh dalam pengontrolan fogging dimana digunakan untuk pengontrolan aliran daya atau sinyal berdasarkan keadaan input kontrol. Pengujian fogging berdasarkan input dari relay dipastikan dapat berfungsi dengan baik.

## Pengujian MCP4725

No	Nilai PWM	Nilai Output (Volt)
1	819	1V
2	1638	2V
3	2457	3V
4	3276	4V
5	4095	5V

**Gambar 3 Hasil Pengujian MCP4725**

Pengujian MCP4725 dilakukan pengujian terhadap digital to analog converter yaitu MCP4725 yang mengubah nilai PWM (*Pulse Width Modulation*) menjadi tegangan analog. Ketika PWM diberikan nilai PWM 819 menghasilkan tegangan output yang dihasilkan 1 V, sesuai dengan karakteristik tegangan proporsional terhadap nilai PWM yang diberikan. Nilai PWM yang diberikan yaitu 1228,5 memiliki tegangan output 1.5V menunjukkan bahwa memiliki respon yang baik dari input yang diberikan. Peningkatan nilai PWM menjadi 1638 menghasilkan tegangan output sebesar 2V. Nilai PWM 2047,5 menghasilkan nilai tegangan output sebesar 2,5 V. Terakhir, ketika nilai PWM mencapai nilai 4095 tegangan output yang dihasilkan yaitu 5V. Hal tersebut menunjukkan rentang tegangan yang dihasilkan oleh DAC MCP4725 sesuai dengan referensi tegangan dan konsisten dengan spesifikasi yang digunakan. Perhitungan tegangan output MCP4725 dengan DAC resolusi 12-bit yang diartikan dapat menghasilkan hingga 4096 level tegangan output berbeda. Nilai PWM yang diberikan yaitu 2047,5 dengan PWM max adalah nilai maksimum PWM yaitu 4095 karena resolusi 12-bit. V ref untuk tegangan referensi yaitu 5 V. Sehingga dapat menghasilkan nilai tegangan output 2.5 V. Hasil pengujian tersebut didapatkan bahwa MCP4725 menunjukkan respons yang baik atau linier terhadap nilai PWM yang diberikan. Rentang tegangan output dimulai dari 1V hingga 5 V sesuai dengan rentang yang diharapkan pada DAC. Tegangan output MCP4725 pada pengujian sesuai dengan perhitungan menggunakan rumus tegangan output. Sehingga dapat dikategorikan bahwa MCP4725 dapat beroperasi dengan baik dan normal sesuai yang diharapkan untuk mengonversi sinyal PWM menjadi tegangan analog dengan tingkat akurasi baik.

## Pengujian VSD

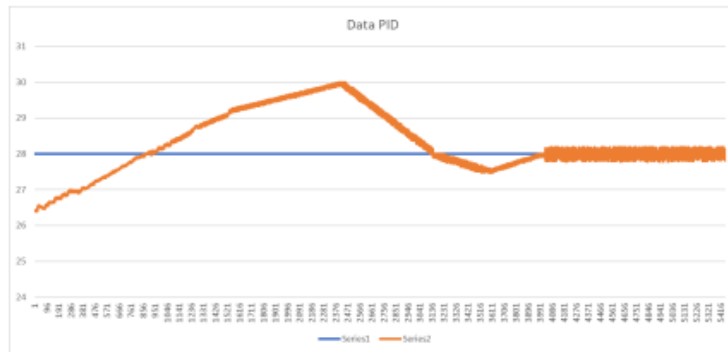
No	Output MCP4725	VSD
1	1V	40 Hz
2	2,5V	61 Hz
3	5V	100 Hz

**Gambar 4 Hasil Pengujian VSD**

Hasil pengujian VSD terdapat hubungan antara output dari MCP4725 yaitu sebuah DAC atau Digital to Analog Converter dengan frekuensi VSD (Variable Speed Drive) atau pengendali kecepatan variabel pada nilai tegangan yang berbeda. Saat output dari MCP4725 adalah 1V, frekuensi VSD yang dihasilkan adalah 40 Hz. Saat output dari MCP4725 adalah 2,5V, frekuensi VSD yang dihasilkan adalah 61 Hz. Saat output dari MCP4725 adalah 5V, frekuensi VSD yang dihasilkan adalah 100 Hz. Hubungan antara output dari MCP4725 (sebuah DAC atau Digital-to-Analog Converter) dengan frekuensi VSD (Variable Speed Drive atau pengendali kecepatan variabel) pada nilai tegangan yang berbeda. Output dari MCP4725 adalah 1V, frekuensi VSD yang dihasilkan adalah 40 Hz. Hal tersebut menunjukkan bahwa MCP4725 menghasilkan tegangan analog 1V ketika diatur sesuai dengan nilai digitalnya. Frekuensi 40 Hz pada VSD terkait dengan pengaturan yang dikendalikan oleh VSD. Perubahan tegangan dari MCP4725 yang kecil ini dapat menghasilkan perubahan frekuensi pada VSD yang diperlukan untuk mengontrol kecepatan motor atau perangkat lainnya. Output dari MCP4725 adalah 2,5V, frekuensi VSD yang dihasilkan adalah 61 Hz. Penambahan tegangan output dari MCP4725 menjadi 2,5V menghasilkan peningkatan frekuensi VSD menjadi 61 Hz. Hal tersebut menunjukkan respons baik antara tegangan yang dihasilkan oleh MCP4725 dan frekuensi output dari VSD. Peningkatan tegangan analog diperlukan untuk mengatur kecepatan yang lebih tinggi. Output dari MCP4725 adalah 5V, frekuensi VSD yang dihasilkan adalah 100 Hz. Tegangan output maksimum dari MCP4725 adalah 5V, yang menghasilkan frekuensi VSD maksimum sebesar 100 Hz. Hal ini menunjukkan bahwa VSD dapat beroperasi pada frekuensi yang lebih tinggi ketika tegangan dari MCP4725 mencapai level yang lebih tinggi. Peningkatan tegangan output diperlukan untuk kebutuhan operasi yang lebih cepat dengan respon yang lebih responsif. MCP4725 sebagai DAC menghasilkan tegangan analog yang proporsional terhadap nilai digital yang diberikan. Frekuensi VSD sebagai respons terhadap tegangan analog dari MCP4725

menunjukkan hubungan dengan respon yang baik. Semakin tinggi tegangan yang dihasilkan oleh MCP4725, semakin tinggi juga frekuensi yang dihasilkan oleh VSD. Pengujian VSD menunjukkan bahwa MCP4725 berpengaruh dalam pengoperasian VSD sehingga VSD dapat berfungsi sesuai dengan harapan sebagai pengubah sinyal digital menjadi tegangan analog yang akurat, yang secara langsung mempengaruhi operasi dan kecepatan dari sistem yang dikendalikan oleh VSD.

### Pengujian PID



**Gambar 5 Hasil Pengujian PID**

Hasil pengujian PID dimana waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai 100% dari setpoint sehingga nilai  $T_r$  adalah 885 detik. Peak time sekitar 2413 detik. Hal tersebut menunjukkan waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai respons maksimum setelah terjadinya perubahan pada setpoint. Delay time sekitar 1203 detik mencerminkan keterlambatan sistem dalam merespons perubahan setpoint atau gangguan. Sistem juga mengalami overshoot maksimum sebesar 8.2% terhadap setpoint, menandakan kelebihan pergerakan sebelum stabilisasi. Setting time untuk mencapai batas 2% dan 5% dari tanggapan akhir adalah masing-masing sekitar 606 detik dan 1400 detik. Data tersebut menggambarkan karakteristik sistem yang memerlukan waktu relatif lama untuk mencapai respons maksimum dan stabil setelah terjadinya perubahan pada setpoint atau gangguan. Parameter tersebut dapat memberikan gambaran sistem kendali PID merespon terhadap perubahan setpoint dan mengindikasikan seberapa cepat sistem mencapai respons maksimum dan seberapa jauh sistem melewati setpoint sebelum stabil kembali.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penerapan sensor SHT30 dalam sistem monitoring yaitu sebagai deteksi kelembaban dan suhu. Sensor tersebut dapat diterapkan pada sistem monitoring dengan ditampilkan pada *display* LCD maupun *website* dan diimplementasikan pada sistem

kendali temperatur pada ruang produksi "*clean room*". Sensor SHT30 dapat bekerja dengan baik untuk mendeteksi kelembaban dan suhu pada ruang produksi. Hal tersebut dibuktikan dengan perbandingan persentase error pengujian suhu maupun kelembaban. Nilai rata rata persentase error kelembaban yang tergolong kecil yaitu untuk 1,43% dan rata rata error suhu 1,14% , menunjukkan bahwa sensor SHT30 dapat diandalkan dalam mengukur suhu dan kelembaban relatif pada implementasinya.

Sensor SHT30 bekerja dengan baik dalam sistem kendali temperatur pada ruang produksi "*cleanroom*" dengan mendeteksi suhu pada ruang produksi. Kemudian data suhu akan diproses ESP32 untuk mengetahui batasan suhu sesuai dengan set point atau tidak. Jika suhu melebihi batas set point maka relay akan blower dan diaktifkan untuk menyesuaikan suhu kembali ke batas set point. Sedangkan VSD membantu mengatur kecepatan, yang dapat disesuaikan dengan suhu yang terukur. Sehingga VSD dapat membantu menjaga kondisi suhu agar tetap stabil. Rata rata suhu pada ruangan berdasarkan sensor SHT30 yaitu 28,020C sedangkan rata rata suhu pada thermohygrometer 28,230C sehingga rata rata error suhu berdasarkan perbandingan sensor SHT30 dan thermohygrometer adalah 1,14 %. Sensor SHT30 bekerja dengan baik dalam sistem kendali temperatur pada ruang produksi "*cleanroom*" dengan mendeteksi suhu pada ruang produksi. Kemudian data suhu akan diproses ESP32 untuk mengetahui batasan suhu sesuai dengan set point atau tidak. Jika suhu melebihi batas set point maka relay akan blower dan diaktifkan untuk menyesuaikan suhu kembali ke batas set point. Sedangkan VSD membantu mengatur kecepatan, yang dapat disesuaikan dengan suhu yang terukur. Sehingga VSD dapat membantu menjaga kondisi suhu agar tetap stabil. Rata rata suhu pada ruangan berdasarkan sensor SHT30 yaitu 28,020C sedangkan rata rata suhu pada thermohygrometer 28,230C sehingga rata rata

error suhu berdasarkan perbandingan sensor SHT30 dan thermohygrometer adalah 1,14 %. Metode PID dengan *split range control* berhasil diterapkan pada sistem kendali pada ruang produksi dengan baik. Sistem kendali membutuhkan waktu sekitar 885 detik untuk mencapai 100% setpoint. Waktu untuk mencapai puncak pertama sekitar 2413 detik menunjukkan waktu yang dibutuhkan mencapai respon maksimum setelah terjadinya perubahan setpoint. Keterlambatan sistem dalam merespon perubahan set point untuk mencapai setengah atau 50% dari nilai akhir adalah 1203 detik. Sistem mengalami overshoot maksimum sebesar 8,2%. Setting time untuk mencapai batas 2% dibutuhkan sekitar 606 detik dan untuk mencapai batas 5% dibutuhkan sekitar 1400 detik.

## 6. DAFTAR REFERENSI

- Dewatama, D., Fauziah, M., & Safitri, H. K. (2018). Kendali DC-DC converter pada portable pico-hydro menggunakan PID kontroler. *Jurnal ELTEK*, 6(2), ISSN 1693-4024.
- Dona, M., Louk, A. C., & Tanesib, J. L. (2018). Otomatisasi sistem buka-tutup atap rumah teleskop dan pengontrol kelembaban udara menggunakan Raspberry Pi 3. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 3(2), ISSN 2503-5274.
- Huda, M. B. R., & Kurniawan, W. D. (2022). Analisa sistem pengendalian temperatur menggunakan sensor DS18B20 berbasis mikrokontroler Arduino. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya*, 7(2), 18-23.
- Indrihastuti, N., Prayoga, A., & Musyaffa, M. A. (2021). Perancangan kendali 2 kontaktor bekerja berurutan secara otomatis berbasis PLC CPM1A 40CDR\_A. *Jurnal Cahaya Bagaskara*, 6(2).
- IQS Directory. (n.d.). Centrifugal blowers. Industrial Quick Search. Retrieved from <https://www.iqsdirectory.com/articles/blower/centrifugal-blowers.html> (accessed on July 5, 2024).
- Putra, A. R., Ariyanto, A., & Suharmadi. (2018). Penentuan penempatan sensor particle counter pada clean room produksi kit radiofarmaka. *Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir*, ISSN 1978-0176.
- Rachmawan, A., & Muharom, S. (2021). Implementasi metode PID pada pendingin ruang panel inverter berbasis Arduino. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan IX 2021*, ISSN 2685-6875. Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.
- Refiadi, G., & Usmadi, T. (2016). Rancang bangun, otomasi, dan pengelolaan biohazard ruang virology untuk clean room industri farmasi. *J. Oto. Ktrl. Inst*, 8(1), ISSN 2085-2517.
- Reyes-Lua, A., Zotica, C., & Forsman, K. (2019). Systematic design of split range controllers. *Conference Paper Archive IFAC Papers Online*, 52(1), 898-903.



- Rhoziq, A. N., Herwandi, & Luqman, M. (2023). Kontrol kecepatan dan suhu pada pembersih porang berbasis Arduino Uni menggunakan metode fuzzy logic. *Jurnal Teknik Indonesia*, 2(4).
- Sasono, S. H. W., Nugroho, A. S., Supriyanto, E., & Kusumastuti, S. (2020). IoT smart health untuk monitoring dan kontrol suhu dan kelembaban ruang penyimpanan obat berbasis Android di Rumah Sakit Umum Pusat Dr. Sardjito Yogyakarta. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XV*, 53-62, ISSN 1907-5995.
- Tohari. (n.d.). Fungsi transmitter pada simulator sistem peringatan dini pengendalian banjir dengan electronic data proses. *Jurnal Teknik Elektro Politeknik Harapan Bersama*.
- Tyas, D. A., & Sumiharto, R. (2013). Purwarupa sistem kendali PID: Studi kasus kendali suhu ruang. *IJEIS*, 3(1), 95-104. ISSN 2088-3714.
- Wijaya, E. C., Setiawan, I., & Wahyudi, W. (n.d.). Auto tuning PID berbasis metode osilasi Ziegler-Nichols menggunakan mikrokontroler AT89S52 pada pengendalian suhu. *Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro*.
- Yafioda, A. (2023). Perbaikan unjuk kerja motor 3 fasa sebagai penggerak konveyor menggunakan kontrol PID. *Jurnal Teknik Elektro, Universitas Negeri Surabaya*, 12(3), 83-91.