

SIMULASI KONTROL KELEMBABAN DENGAN KONTROLER PID PADA KUMBUNG JAMUR DI *URBAN FARMING* ALAM SARI PETRA

Sih Kawuryan Yulianes Kufa, Resmana Lim, Petrus Santoso, Iwan Handoyo Putro
Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra

Jl. Siwalankerto No. 121-131, Surabaya, 60236, Indonesia

E-Mail: yayankufa18@gmail.com; resmana@petra.ac.id; petrus@petra.ac.id, iwanhp@petra.ac.id

Abstrak – *Urban farming* adalah kegiatan bercocok tanam atau beternak secara mandiri di wilayah perkotaan dengan memanfaatkan lahan yang terbatas atau kosong. *Urban Farming* Alam Sari Petra di pusat kota Surabaya bertujuan untuk mendidik pendidik dan peserta didik tentang pertanian perkotaan dan tanaman organik. Salah satu kegiatan yang dilakukan adalah budidaya jamur tiram. Namun, pengoperasian manual sistem penyiram di kumbung jamur menyebabkan kelembaban yang tidak terkontrol dan pertumbuhan jamur yang tidak optimal. Untuk mengatasi hal ini, diimplementasikan sebuah sistem pengatur kelembaban menggunakan kontroler PID. Permasalahan penelitian ini difokuskan pada bagaimana mempertahankan kelembaban pada tingkat tertentu selama masa inkubasi dan masa panen di kumbung jamur. Pengujian yang dilakukan adalah *tuning* pid, pengujian kontrol tanpa gangguan, pengujian kontrol dengan gangguan dan pengujian kontrol dengan target kelembaban berbeda. Tahapan pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja dari sistem. Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan kontroler PID dalam mengontrol kelembaban hingga berhasil mencapai tingkat kelembaban yang stabil dan sesuai dengan *set point* yang diminta.

Kata Kunci – *urban farming*, pengendalian kelembaban, sistem berbasis sensor, kontroler pid

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Urban farming adalah kegiatan bercocok tanam atau beternak mandiri di wilayah perkotaan dengan memanfaatkan lahan terbatas atau kosong dengan tujuan untuk meningkatkan ketahanan pangan [1, 2, 3]. Di Surabaya, terdapat Alam Sari Petra, sebuah *urban farming* berbasis IoT yang dikembangkan oleh PPPK Petra. Tujuan Alam Sari Petra adalah mengedukasi pendidik dan peserta didik tentang pertanian di kota serta tanaman organik yang baik untuk kesehatan. Salah satu aspek pertanian organik yang dikembangkan di Alam Sari Petra adalah budidaya jamur tiram. Namun, dalam budidaya ini, pengaturan kelembaban masih dilakukan secara manual menggunakan *sprinkler*, sehingga pertumbuhan jamur tidak optimal. Oleh karena itu, diperlukan sistem otomatis untuk memantau suhu & kelembaban serta mengatur kelembaban di kumbung jamur.

Dalam budidaya jamur tiram, suhu dan kelembaban ruangan harus tetap terjaga sesuai standar yang diperlukan [5, 6]. Di Alam Sari Petra, budidaya jamur tiram masih dilakukan secara manual, sehingga pengaturan suhu dan kelembaban menggunakan *sprinkler* yang dioperasikan secara manual. Hal ini menyebabkan kelembaban kumbung dan kandungan airdalam *baglog* jamur tidak terkontrol, mengakibatkan

pertumbuhan jamur tidak optimal [7, 8]. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan sistem otomatis yang dapat memantau dan mengatur kelembaban secara otomatis sehingga pertumbuhan jamur dapat berjalan dengan baik [9].

Perumusan masalah yang didapatkan adalah bagaimana cara menjaga kelembaban dalam kumbung jamur pada titik tertentu selama masa inkubasi dan masa panen. Dalam konteks ini, diusulkan penggunaan alat pengontrol kelembaban dengan metode PID (*Proportional-Integral-Derivative*). Dengan adanya alat pengontrol kelembaban ini, diharapkan kelembaban kumbung jamur dapat terkontrol secara tepat sesuai dengan kebutuhan pertumbuhan jamur. Metode PID memungkinkan pengaturan yang lebih presisi dan responsif terhadap perubahan kelembaban, sehingga memberikan lingkungan yang optimal bagi pertumbuhan jamur tiram.

B. Dasar Teori

PID *Controller* adalah metode kontrol yang umum digunakan di industri karena kinerja yang bagus dan kemampuannya dalam berbagai kondisi operasi. Meskipun biasanya digunakan dalam konfigurasi *single input* dan *output*, PID *Controller* dapat diadaptasi untuk konfigurasi lain dengan perlakuan khusus. Kontrol PID terdiri dari tiga komponen dasar: Proporsional, Integral, dan Derivatif. Kontrol Proporsional memberikan output yang sebanding dengan error input. Kontrol Integral menghilangkan *error steady state* dengan menjumlahkan terus menerus input error. Kontrol Derivatif bereaksi cepat terhadap perubahan input dengan menghasilkan output berdasarkan perubahan error. Kontrol ini tidak dapat berdiri sendiri dan harus digunakan bersama dengan komponen lainnya. PID *Controller* telah dikembangkan sejak awal abad ke-20 dan digunakan secara luas di industri sejak pertengahan tahun 1950 [10].

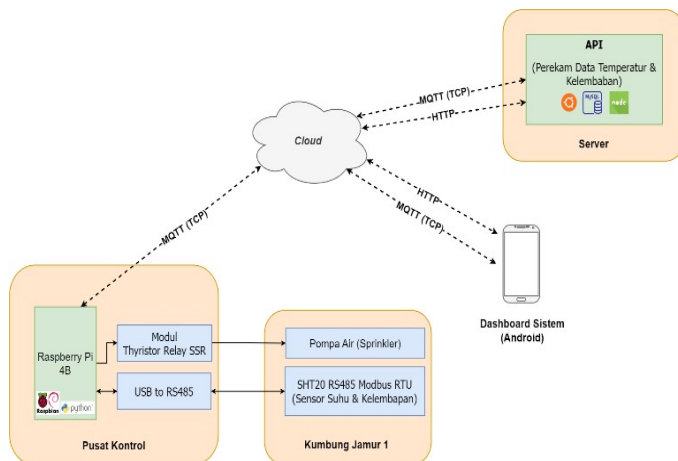
II. METODOLOGI

Perancangan sistem dari alat kontrol kelembaban ini dimulai dari pembuatan desain sistem dalam bentuk blok diagram. Blok diagram arsitektur dari sistem dapat dilihat pada Gambar 1.

A. Arsitektur Sistem

Gambar 1 menunjukkan 5 blok yang memiliki peran masing-masing. Pertama, Blok Sistem Kontrol menggunakan Raspberry Pi sebagai pusat kontrol. Raspberry Pi berfungsi sebagai otak sistem dan sebagai MQTT *Client* yang mengirim dan menerima pesan data temperatur & kelembaban serta pengaturan parameter sistem dari Blok *Server* melalui

protokol MQTT. Raspberry Pi juga terhubung dengan Modul Relay BTA16-600B untuk mengendalikan pompa air di Kumbung Jamur 1.



Gambar 1. Diagram Blok Arsitektur Sistem.

Blok Kumbung Jamur 1 memiliki pompa air listrik sebagai *sprinkler* dan Modul Sensor Temperatur & Kelembaban SHT20 untuk mengukur suhu dan kelembaban. Raspberry Pi pada Blok Sistem Kontrol terhubung dengan Blok Kumbung Jamur ini untuk mengontrol pompa dan menerima data dari sensor.

Blok *Dashboard Sistem* adalah tampilan dashboard yang dapat diakses melalui aplikasi Android. Aplikasi ini dikembangkan menggunakan *framework* web Vue 3 dan CapacitorJS. Pengguna dapat mengontrol sistem dan memantau data temperatur & kelembaban di kumbung jamur melalui aplikasi ini.

Blok *Server* adalah komputer *server* dengan sistem operasi Ubuntu yang berfungsi sebagai *host* API perekam data temperatur & kelembaban. API menggunakan MySQL sebagai database untuk menyimpan data dan Node.js sebagai runtime environment. API ini tidak hanya menerima dan menyimpan data, tetapi juga menyediakan layanan pengambilan rekaman data melalui protokol HTTP. Dashboard dapat mengakses dan menampilkan data yang tersimpan di dalamnya.

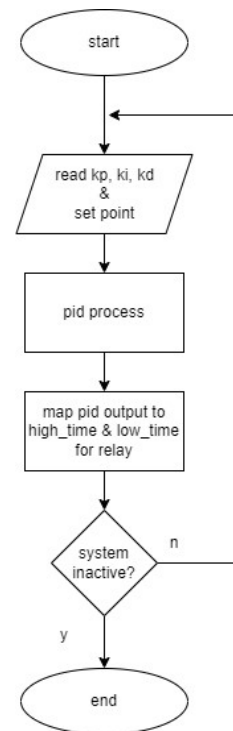
Blok *Cloud* berfungsi sebagai jembatan antara sistem dan internet. Melalui Blok *Cloud*, data dan pesan dapat dikirim dan diterima antara *Dashboard Sistem*, Raspberry Pi, dan Server. Dengan adanya Blok *Cloud*, pengguna dapat mengakses informasi dan mengontrol kumbung jamur melalui Aplikasi *Dashboard Sistem* secara *online*, di mana pun mereka berada.

B. Flowchart Program

Sistem ini menggunakan program Python yang dijalankan pada Raspberry Pi sebagai alat pengendali kelembaban. Flowchart program Python yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.

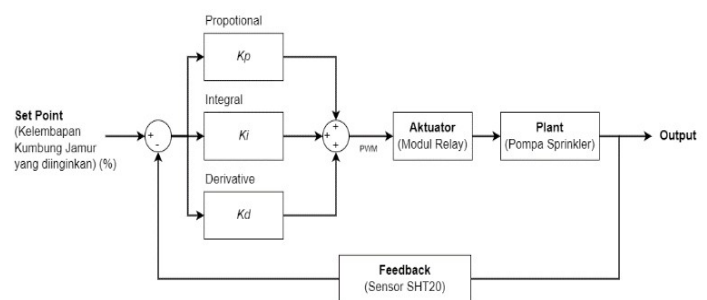
Flowchart pada Gambar 2 menggambarkan kontroler PID untuk mengendalikan kelembaban di kumbung jamur 1. Sistem membaca nilai-nilai k_p , k_i , k_d , dan set point. PID membandingkan nilai aktual dengan *set point* dan menghasilkan output. Output diubah menjadi waktu aktif (*high_time*) dan waktu non-aktif (*low_time*) untuk mengontrol relay. Sistem memeriksa apakah sistem masih aktif, jika ya, kembali ke langkah awal. Relay digunakan untuk

mengendalikan pompa *sprinkler*, dengan *high time* menghasilkan kelembaban tinggi dan *low time* menghasilkan kelembaban rendah. Proses ini berulang sampai sistem tidak aktif.



Gambar 2. Flowchart Program Raspberry Pi.

Terlihat dari *flowchart* program pada Raspberry Pi, terdapat blok *pid process*, blok tersebut adalah bagian penting dari pengontrolan kelembaban ini. Diagram blok dari kontroler PID yang digunakan oleh sistem dapat dilihat pada Gambar 3.



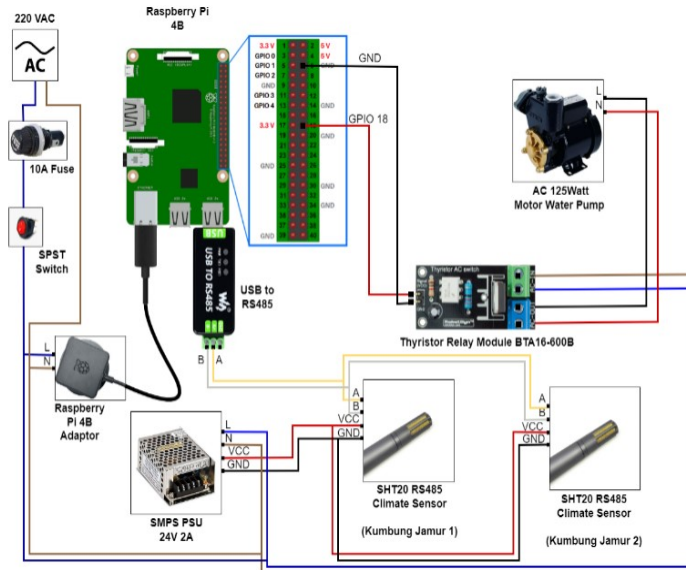
Gambar 3. Diagram Blok PID.

Berdasarkan Gambar 3, sistem ini terdiri dari beberapa komponen penting yang saling terkoneksi. Pertama, terdapat *set point* kelembaban yang merupakan nilai yang diinginkan untuk kumbung jamur. Kemudian, *feedback* diperoleh dari sensor SHT20 yang membaca kelembaban aktual di dalam kumbung jamur yang dikontrol. Informasi dari feedback ini digunakan sebagai masukan dalam proses kontrol.

Selanjutnya adalah tahap desain rangkaian. Tahap mendesain rangkaian diperlukan agar semua komponen dan modul dalam sistem seperti Raspberry Pi, relay dan modul sensor dapat saling berfungsi dan berkomunikasi dengan baik.

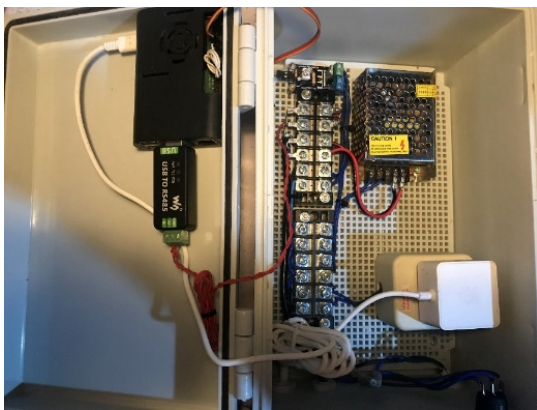
Gambar 4 menunjukkan *wiring diagram* dari sistem. Terlihat pada Gambar 4, sistem ini terdiri dari beberapa komponen yang terhubung dengan Raspberry Pi 4B sebagai pusat kontrol. Pertama, Raspberry Pi terhubung dengan USB to RS485 yang

kemudian dihubungkan ke *port* USB pada Raspberry Pi. Koneksi ini digunakan untuk menghubungkan perangkat dengan komunikasi *Modbus* RS485 dalam sistem. Untuk menjalankan Raspberry Pi, diperlukan suplai daya yang disediakan melalui PSU khusus yang terhubung dengan Raspberry Pi. *Adaptor* ini berfungsi untuk memberikan daya yang diperlukan agar Raspberry Pi dapat beroperasi. Selanjutnya, dalam sistem ini terdapat dua sensor temperatur & Kelembaban SHT20 yang menggunakan protokol *Modbus* RS485. Kedua sensor ini terhubung ke koneksi A dan B pada USB to RS485 menggunakan konfigurasi *daisy chain*. Dengan metode ini, Raspberry Pi dapat mengakses data dari kedua sensor melalui satu koneksi.



Gambar 4. Wiring Diagram Sistem.

Sistem ini juga menggunakan *Thyristor Relay Module* BTA16-600B. Modul ini memiliki *output* yang terhubung dengan sebuah Motor Pompa Air AC 125Watt. Koneksi ini memungkinkan Raspberry Pi untuk mengendalikan operasi nyala motor pompa air. Untuk keseluruhan suplai listrik 220VAC dalam sistem ini, *adaptor* Raspberry Pi, SMPS PSU, Motor Pompa, dan *Thyristor Relay* terhubung dalam satu rangkaian. Rangkaian ini dilindungi menggunakan sebuah saklar *SPST* dan *fuse* proteksi untuk mencegah kerusakan pada modul-modul sistem pada saat sistem mengalami hubung singkat.



Gambar 5. Hasil Instalasi Modul Sistem pada Box Enclosure.

Gambar 5 adalah foto yang menunjukkan hasil instalasi seluruh modul *hardware* sistem pada *box enclosure*. Pada foto

tersebut, terlihat bahwa semua modul telah dipasang dengan rapi didalam *enclosure box* mengikuti Desain Peletakan Modul pada *Base Plate*.

Proses pembuatan *test rig* ini bertujuan untuk melakukan simulasi pengontrolan kelembaban dalam kumbung jamur di lapangan. Dalam *test rig* ini, terdapat dua komponen utama, yaitu *mist maker* dan *fan*. *Mist maker* digunakan sebagai simulasi *sprinkler* yang ada pada kumbung jamur. Fungsinya adalah menghasilkan partikel-partikel air yang sangat halus untuk menciptakan kondisi kelembaban yang diinginkan di sekitar area yang disemproti.

Di sisi lain, *fan* sendiri digunakan sebagai simulasi gangguan dalam hembusan angin dari luar yang masuk melalui celah-celah dinding bambu kumbung jamur di lokasi *Urban Farming* Alam Sari Petra. *Fan* ini membantu menciptakan pergerakan udara di dalam kumbung jamur. Meskipun sifatnya mengganggu, *fan* juga membantu dalam mengurangi tingkat kelembaban yang berlebih di dalam kumbung jamur. Dengan adanya *fan*, pengontrolan tingkat kelembaban menjadi lebih dapat dikontrol.



Gambar 6. Test Rig Tampak Samping.

Pada Gambar 6, terlihat wujud *test rig* tampak samping. *Test rig* ini dibuat secara sederhana menggunakan tempat sampah plastik dengan tinggi sekitar 1 meter dan lebar sekitar 30 cm. Tempat sampah tersebut dilengkapi dengan penutup atas yang terbuat dari plastik bekas *map* dokumen, yang juga digunakan sebagai *mounting* untuk *fan*.



Gambar 7. Test Rig Tampak Atas.

Pada Gambar 7, terlihat *test rig* dari sudut pandang atas. Dalam gambar tersebut, dapat terlihat adanya sebuah kipas yang dipasang di atas plastik bekas *map* dokumen. Kipas tersebut terikat dengan menggunakan beberapa mur dan baut sebagai pengikatnya.

Pada Gambar 8, terlihat tingkat ketinggian air yang dituangkan ke dalam tempat sampah plastik adalah sekitar 4 cm. Ketinggian air tersebut memungkinkan modul *mist maker*

untuk bekerja dan menghasilkan embun yang memenuhi dasar tempat sampah sehingga dapat mensimulasikan fungsi *sprinkler* penambah kelembaban dalam kumbung jamur.



Gambar 8. Tingkat Ketinggian Air untuk Kebutuhan Modul *Mist Maker*



Gambar 9. Peletakan Modul *Mist Maker* & Modul Sensor Temperatur & Kelembaban SHT20

Selanjutnya pada Gambar 9, terlihat peletakan modul *mist maker* dan modul sensor temperatur dan kelembaban SHT20 dalam tempat sampah plastik. Modul sensor temperatur & Kelembaban SHT20 digantung dari tutup tempat sampah, dengan jarak sekitar 15 cm dari dasar tempat sampah plastik. Dengan penempatan yang tepat ini, sensor temperatur & kelembaban tidak langsung terkena kontak dengan embun air yang dihasilkan oleh modul *mist maker* untuk memastikan pengukuran kelembaban yang sesuai.

III. HASIL PENGUJIAN

Dalam pengujian ini, dilakukan proses *tuning* parameter PID lalu dilanjutkan dengan pengujian terhadap kemampuan kontroler PID dalam mempertahankan kelembaban pada *set point* yang diinginkan. Selain itu, pengujian juga dilakukan untuk menguji kestabilan kontroler PID saat diberi gangguan. Dalam Gambar 10, terlihat proses pengujian kontroler PID menggunakan *test rig* yang dirancang menggunakan tempat sampah plastik untuk mensimulasikan situasi kelembaban di dalam kumbung jamur. Pada gambar tersebut, terlihat jelas adanya gumpalan embun di dasar tempat sampah yang menandakan bahwa modul *mist maker* dapat berfungsi dengan baik. Peran *mist maker* sangat penting dalam pengujian ini karena embun yang dihasilkannya diharapkan dapat meningkatkan tingkat kelembaban di dalam tempat sampah tersebut. Selanjutnya, perubahan tingkat kelembaban yang

dihasilkan oleh *mist maker* akan diukur oleh sensor temperatur dan kelembaban SHT20.



Gambar 10. Proses Pengujian Kontroler PID.

Sesuai dengan rencana pembuatan sistem automasi ini, sensor temperatur dan Kelembaban SHT20 yang digunakan dalam pengujian ini hanya digunakan pada kumbung jamur-1, di mana kumbung jamur ini saja yang akan dilakukan pengontrolan kelembabannya. Sementara itu, sensor temperatur dan Kelembaban untuk kumbung jamur-2 diletakkan di luar *test rig* hanya untuk sekedar merekam kelembaban udara tanpa adanya pengontrolan sebagai perbandingan data. Dengan menggunakan sensor temperatur & Kelembaban SHT20 pada kumbung jamur-1 untuk mengukur perubahan kelembaban, kontroler PID dapat mengetahui kadar kelembaban terkini guna mengatur durasi *on* dan *off* modul *mist maker* secara efektif, sesuai dengan tingkat kebutuhan kelembaban dalam kumbung jamur.

A. *Tuning* PID

Proses *tuning* kontroler PID ini akan dilakukan secara manual yaitu dengan mengatur kekuatan tiap parameter kontroler PID secara bertahap dimulai dari: K_p (*Proportional Gain*), K_d (*Derivative Gain*), dan K_i (*Integral Gain*). Kekuatan tiap parameter tersebut akan disesuaikan berdasarkan efek pengontrolan yang dihasilkan. Kekuatan efek pengontrolan tiap parameter PID akan dievaluasi dengan cara memperhatikan perubahan yang terjadi pada visualisasi grafik rekaman kelembaban. Maka dari itu, di setiap tahap *tuning* akan disertai penjelasan parameter pengujian yang digunakan serta parameter kontroler PID yang sedang diatur.

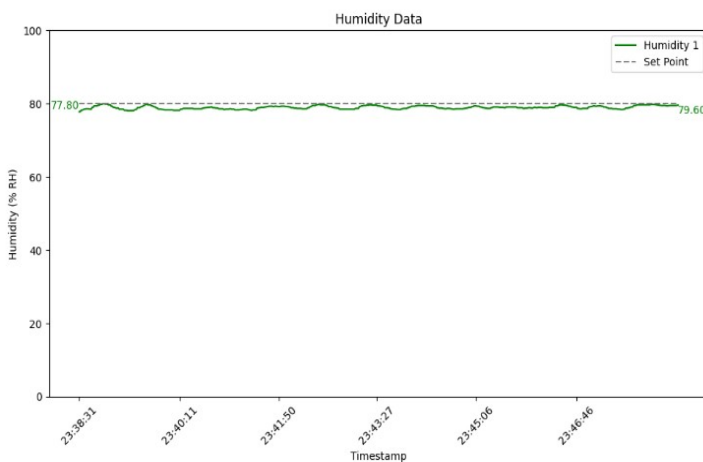
Selain itu, dalam tiap pengujian kontroler PID ini *fan* akan diaktif & non-aktifkan secara bergantian dan mandiri, terpisah dari kontroler PID. *Fan* ini diperlukan untuk mengurangi kelembaban kumbung jamur yang berlebihan, mensimulasikan penurunan tingkat kelembaban dari waktu ke waktu. Selain itu, *fan* ini juga difungsikan sebagai gangguan (*disturbance*) dengan cara menambahkan kekuatan dari *fan* tersebut pada titik waktu tertentu. Dengan ini, diharapkan dengan dari proses *tuning* ini, respons kelembaban dapat stabil serta tidak melebihi atau di bawah nilai *set point*.

1. *Tuning* Parameter K_p

Berikut adalah proses *tuning* yang pertama yaitu *tuning* nilai K_p . Nilai K_p diatur agar tingkat kelembaban mampu melewati tingkat *set point* terlebih dahulu. *Tuning* nilai k_p yang dilakukan menggunakan parameter PID seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Pengujian Kontroler PID.

Parameter Pengujian	Nilai	Satuan	Keterangan
Objek Pengujian	Kelembaban	° C	-
Lokasi Sensor	15	Cm	Dari dasar tempat sampah.
Durasi Pengujian	10	Menit	-
Interval Perekaman Data	10	Detik	-
Durasi On & Off fan blower	On & Off = 5	Detik	Fan dijalankan secara kontinyu.



Gambar 11. Grafik Kelembaban pada Proses *Tuning* Nilai Kp.

Pada Gambar 11, ditampilkan visualisasi grafik kelembaban dalam proses *tuning* nilai Kp. Proses *tuning* ini menggunakan parameter pengujian yang tercantum dalam Tabel 2 parameter PID pada proses *tuning* nilai Kp. Fokus utama adalah pada garis data warna hijau yang mewakili kelembaban kumbung jamur-1, sementara garis ungu hanya sebagai pembanding data kelembaban dari kumbung jamur-2.

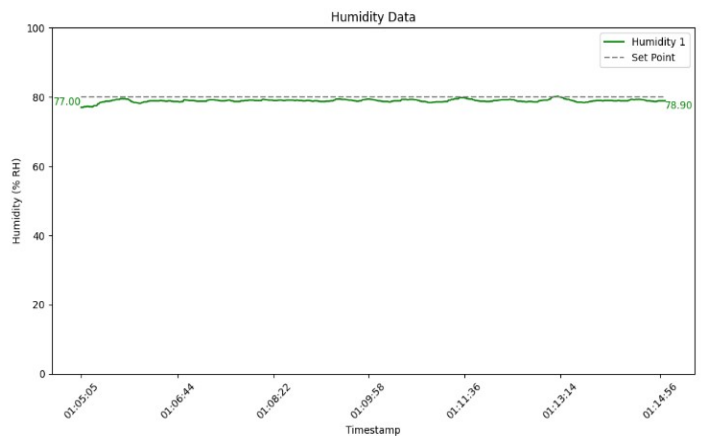
Tabel 2. Parameter PID pada Proses *Tuning* nilai Kp.

Parameter PID	Nilai	Satuan	Keterangan
Set Point	80	% RH	-
Kp	10	-	-
Ki	0	-	-
Kd	0	-	-
Durasi On & Off fan blower	On & Off = 5	Detik	Fan dijalankan secara kontinyu.

Pada awal percobaan *tuning*, kekuatan Kp memiliki nilai awal yang relatif kecil. Nilai yang dimasukkan awalnya adalah 0.1, namun kelembaban sulit untuk mendekati titik *set point* dan tidak stabil. Setelah beberapa percobaan, dipilih dan dicoba nilai Kp = 10, dan hasilnya terlihat pada garis warna hijau pada grafik. Dengan nilai Kp yang lebih tinggi, kelembaban berhasil mendekati titik *set point* 80 %RH meskipun terdapat osilasi kecil, namun tidak terjadi *overshoot*.

2. *Tuning* Parameter KD

Selanjutnya adalah proses *tuning* nilai Kd untuk mengeliminasi osilasi yang terjadi. Tujuan dari *tuning* ini adalah agar kelembaban menjadi lebih stabil. Proses *tuning* Kd merupakan tahap kedua dalam pengaturan PID dan akan digunakan untuk memperbaiki respons kelembaban.



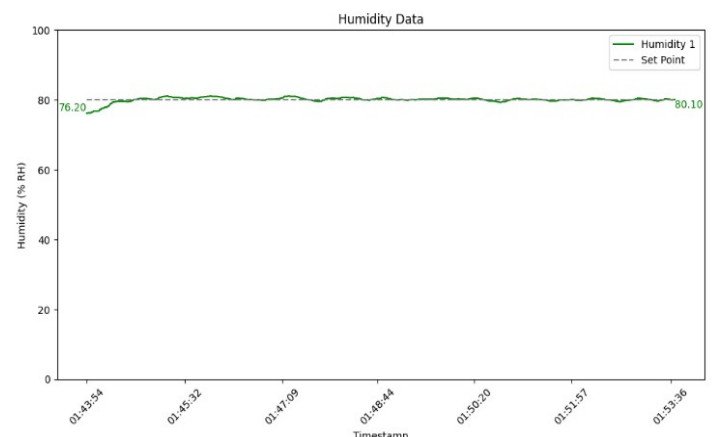
Gambar 12. Grafik Kelembaban pada Proses *Tuning* Nilai Kd

Gambar 12 diatas adalah visualisasi grafik kelembaban pada proses *tuning* nilai Kd dari kontroler PID. Proses *tuning* ini menggunakan parameter pengujian yang tercantum dalam Tabel 3 parameter PID pada proses *tuning* nilai Kd.

Tabel 3. Parameter PID pada Proses *Tuning* nilai Kd.

Parameter PID	Nilai	Satuan	Keterangan
Set Point	80	% RH	-
Kp	10	-	-
Ki	0	-	-
Kd	1	-	-
Durasi On & Off fan blower	On & Off = 5	Detik	Fan dijalankan secara kontinyu.

Dalam proses *tuning* ini, dilakukan beberapa percobaan dimulai dari nilai Kd minimal yaitu 0.1. Dari percobaan menunjukkan bahwa nilai Kd = 1 telah cukup efektif dalam mengurangi osilasi yang terjadi pada grafik *tuning* nilai Kp sebelumnya. Dengan menggunakan nilai Kd = 1, sistem cenderung lebih stabil namun belum mampu mencapai titik *set point* secara langsung, terdapat kondisi di mana kelembaban belum mencapai tingkat yang diinginkan. Untuk mengatasi hal ini, langkah selanjutnya adalah melakukan *tuning* Ki. Dengan *tuning* nilai Ki, diharapkan garis hijau dapat menyentuh garis *set point* pada grafik yang berarti sistem mampu mencapai titik *set point* dan mengurangi *undershoot* yang terjadi.



Gambar 13. Grafik kelembaban pada proses *tuning* nilai *Ki*.

3. *Tuning* Parameter *Ki*

Berikut adalah proses *tuning* yang terakhir yaitu *tuning* nilai *Ki*. Proses *tuning* dilakukan dengan tujuan agar garis hijau (kelembaban) dari kumbung jamur dari visualisasi grafik dapat mencapai titik *set point*.

Gambar 13 diatas adalah visualisasi grafik kelembaban pada proses *tuning* nilai *Ki* dari kontroler PID. Proses *tuning* ini menggunakan parameter pengujian yang tercantum dalam Tabel 4 parameter PID pada proses *tuning* nilai *Kd*.

Tabel 4. Parameter PID pada Proses *Tuning* nilai *Ki*.

Parameter PID	Nilai	Satuan	Keterangan
<i>Set Point</i>	80	% RH	-
<i>Kp</i>	10	-	-
<i>Ki</i>	0.1	-	-
<i>Kd</i>	1	-	-
Durasi <i>On & Off fan blower</i>	<i>On & Off</i> = 5	Detik	<i>Fan</i> dijalankan secara kontinyu.

Dalam proses *tuning* ini, nilai *Ki* diatur dengan nilai awal 0.1. Melalui beberapa percobaan, ditemukan bahwa dengan nilai *Ki* tersebut, garis data warna hijau akhirnya berhasil mencapai titik *set point* yang ditentukan, yaitu 80% RH. Meskipun terdapat beberapa osilasi yang terjadi di sana-sini, garis data menunjukkan stabilitas yang cukup baik.

Dengan hasil ini, didapatkan parameter PID (*Kp* = 10, *Ki* = 0.1, *Kd* = 1). Dengan nilai parameter tersebut sistem kontrol PID telah berhasil dalam menyesuaikan respons kelembaban secara lebih akurat. Meskipun terdapat beberapa osilasi yang masih terjadi, kelembaban pada garis hijau terlihat stabil dan mencapai titik *set point* dengan cukup baik.

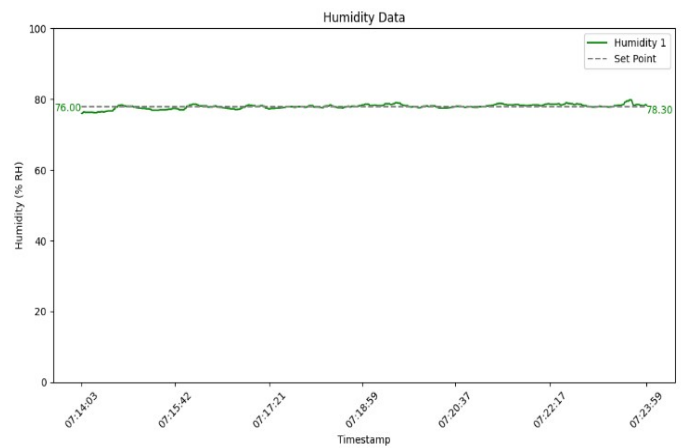
B. Pengujian Mempertahakan Kelembaban pada *Set Point*

Berikut adalah pengujian kemampuan kontroler PID mempertahankan kelembaban pada *set point* yang diinginkan. Pada pengujian kali ini akan diterapkan parameter PID yang tertera pada Tabel 5 dengan *set point* = 78% RH.

Tabel 5. Parameter PID Pengujian PID dengan nilai *Set Point* 78% RH

Parameter PID	Nilai	Satuan	Keterangan
<i>Set Point</i>	78	% RH	-
<i>Kp</i>	10	-	-
<i>Ki</i>	0.1	-	-
<i>Kd</i>	1	-	-
Durasi <i>On & Off fan blower</i>	<i>On & Off</i> = 5	Detik	<i>Fan</i> dijalankan secara kontinyu.

Grafik pada Gambar 14 menunjukkan hasil pengujian dan terlihat bahwa garis hijau yang melambangkan kelembaban kumbung jamur mampu mencapai *set point* yang ditetapkan yaitu sebesar 78 %RH dan relatif stabil. Nilai awal kelembaban sebesar 76 %RH berhasil ditingkatkan menjadi 78.20 %RH di akhir pengujian. Meskipun terdapat sedikit *overshoot* mendekati *timestamp* terakhir yaitu sekitar 80 %RH, sistem masih mampu pulih dan kembali ke dalam rentang *set point* yang diinginkan yaitu 78 %RH.

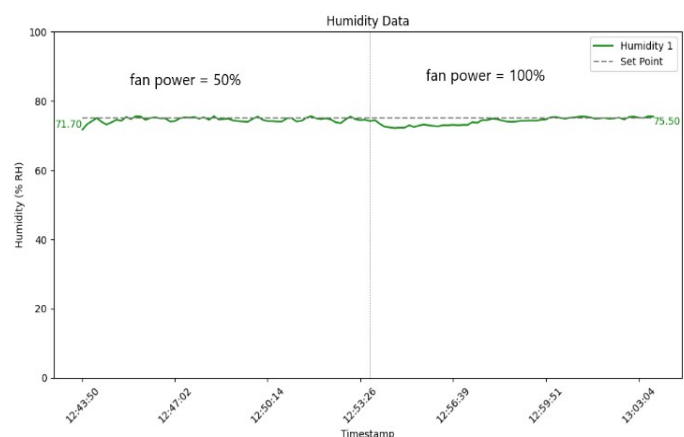
Gambar 14. Grafik kelembaban dengan pengaturan *set point* = 78% RH (tanpa gangguan).

C. Pengujian Kontroler PID dengan Gangguan

Berikut adalah pengujian kemampuan kontroler PID mempertahankan kelembaban pada *set point* pada saat diberi gangguan. Pada pengujian kali ini akan diterapkan parameter PID yang tertera pada Tabel 6 dengan *set point* 75 %RH, namun kekuatan dari *fan* ditambahkan dengan cara menghilangkan durasi *off* (*full power*):

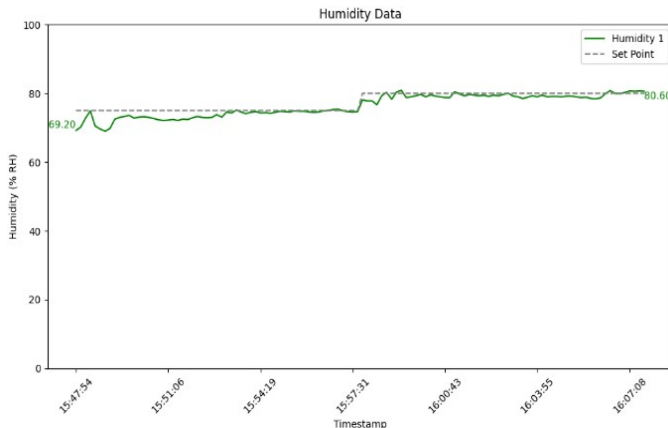
Tabel 6. Parameter PID Pengujian PID dengan nilai *Set Point* berbeda

Parameter PID	Nilai	Satuan	Keterangan
<i>Set Point</i>	75	% RH	-
<i>Kp</i>	10	-	-
<i>Ki</i>	0.1	-	-
<i>Kd</i>	1	-	-
Durasi <i>On & Off fan blower</i>	<i>On</i> = 5, <i>Off</i> = 5	Detik	<i>Fan</i> dijalankan dengan 50% power dan pada saat kelembaban sudah stabil, <i>fan</i> dijalankan dengan kondisi <i>full power</i> (100%) sampai proses pengujian berakhir.

Gambar 15 Grafik kelembaban dengan pengaturan *set point* = 75% RH (dengan gangguan).

Pada Gambar 15, terlihat garis hijau pada grafik kelembaban menunjukkan keberhasilan pengujian kontroler PID dalam mempertahankan kelembaban pada *set point* 75% RH. Pengujian ini dilakukan selama kurun waktu 20 menit. Pada 10 menit pertama kekuatan dari *fan* sebesar 50% dan 10 menit selanjutnya kekuatan *fan* ditingkatkan menjadi 100%. Meskipun terdapat gangguan berupa penurunan tingkat kelembaban pada saat *fan* dinyalakan secara *full power* di tengah pengujian, terlihat pada grafik, kontrol PID masih mampu untuk memulihkan kelembaban kumbung jamur kembali ke titik kelembaban yang diinginkan (*set point*).

D. Pengujian Kontroler PID dengan Set Point Berbeda



Gambar 16. Grafik kelembaban dengan pengaturan *set point* berbeda.

Gambar 16 menunjukkan visualisasi grafik pengujian kontroler PID dengan pengaturan *set point* yang berbeda. Pengujian dilakukan selama 20 menit dengan dua periode pengaturan *set point*. Selama 10 menit pertama, *set point* diatur pada 75 %RH, dan pada 10 menit berikutnya, *set point* diubah menjadi 80 %RH. Dalam pengujian ini, terjadi gangguan penuh dengan menghidupkan *fan* pada kekuatan maksimal.

Dari grafik, terlihat bahwa pada awal pengujian (pukul 15:47:54), kelembaban terbaca sebesar 69,02 %RH. Setelah beberapa waktu, pada pukul 15:53:08, tercapai *set point* pertama yaitu 75 %RH. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *set point* tersebut sekitar 5 menit dan 14 detik.

Selanjutnya, pada pukul 15:57:31, *set point* diubah menjadi 80 % RH. Dalam waktu yang relatif singkat yaitu pada pukul 15:58:41, kelembaban berhasil mencapai *set point* yang kedua. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai perubahan *set point* dari 75 % RH menjadi 80 % RH hanya sekitar 1 menit dan 10 detik.

Dari pengujian ini dapat diketahui bahwa kontroler PID mampu mengatur kelembaban dengan baik dan responsif terhadap perubahan *set point*. Meskipun memerlukan waktu tertentu untuk mencapai *set point* yang ditentukan, kontroler PID secara keseluruhan berhasil mengendalikan kelembaban kumbung jamur dengan efektif.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang dilakukan, kontroler PID terbukti berhasil mengatur tingkat kelembaban sesuai dengan *set point* yang diminta. Untuk mencapai hasil ini, kontroler PID menggunakan parameter *tuning* dengan nilai $K_p = 10$, $K_i =$

0.1, dan $K_d = 1$. Selain itu, kontroler PID juga mampu mengatasi dan memulihkan tingkat kelembaban jika terjadi gangguan eksternal yang berpotensi mempengaruhi kestabilan kelembaban tersebut. Dengan demikian, kontroler PID mampu mengatur dan mempertahankan tingkat kelembaban.

Hasil pengujian kontrol kelembaban dengan berbagai konfigurasi, dapat disimpulkan bahwa penggunaan kontrol proporsional (P) saja memiliki keterbatasan dalam mencapai tingkat kelembaban yang diinginkan dan menghasilkan ketidakstabilan (osilasi). Namun, dengan penambahan komponen derivatif (D) dalam kontrol proporsional-derivatif (P + D), osilasi pada kelembaban dapat dikurangi. Selain itu, dengan penambahan komponen integral (I) terbukti membantu tingkat kelembaban mencapai titik *set point* kelembaban secara lebih akurat dan mengurangi kesalahan dalam mencapai target (*steady state error*). Oleh karena itu, penggunaan kontrol P + I + D memberikan performa terbaik dalam mengatur dan menjaga kelembaban dengan minimum kesalahan serta meningkatkan stabilitas kelembaban pada kumbung jamur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Khasanah, "Urban farming Sebagai Upaya Peningkatan Ekonomi Sulampua", *Jurnal Media Komunikasi dan Bisnis*, 12(2), 10-19, 2021
- [2] I D. G. P. Sedana, N. L. P. E. Permini, "Urban Farming dalam Meningkatkan Ketahanan Pangan Masyarakat Perkotaan", *Jurnal Relasi Publik*, 1(3), 171-178, 2023
- [3] F. Septya, Rosnita, R. Yulida, Y. Andriani, "Urban farming sebagai Upaya ketahanan Pangan keluarga di Kelurahan Labuh baru Timur Kota Pekanbaru", *Reswara: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(1), 105-114, 2021
- [4] D. H. Setiabudi, R. Lim, "Implementasi IoT Fertigation di Urban Farming Alam Sari PPPK Petra", *Jurnal Pengabdian Masyarakat Bangsa*, 1(12), 3667-3673, 2024
- [5] M. M. Hidayat, N. F. Hasan, I. Maya, M. Wakerwa, "Sistem Kontrol Suhu dan Kelembaban Otomatis pada Budidaya Jamur Tiram Berbasis IoT untuk Mendukung House Smart Farming System", *TEKNIMEDIA*, 4(2), 190-195
- [6] S. Widodo, A. Nursyahid, S. Anggraeni K, W. Cahyaningtyas, *ORBITH*, 17(3), 210-219
- [7] A. Ridho'I, K. Setyadjit, B. E. Yordhan, "Sistem Suhu dan Kelembaban Pada Budidaya Jamur Tiram Menggunakan ESP32", *Jurnal FORTECH*, 4(1), 20-26, 2023
- [8] Y. A. Cahyono, "Rancang Bangun Kendali Kelembaban Pada Budidaya Jamur Tiram Berbasis Arduino R3", *PORTALDATA*, 2(3), 1-11, 2022
- [9] Sukemi, "cybex pertanian," *cybext*, 07 June 2021. [Online]. Available: <http://cybex.pertanian.go.id/mobile/artikel/98150/Budidaya-Jamur-Tiram/>. [Accessed 10 July 2023]
- [10] Caid, "PID Controller," *Elektronika Porta*, 18 August 2019. [Online]. Available: <https://elektronika-portal.com/2019/08/18/pid-controller/>. [Accessed 10 July 2023]