

# PERANCANGAN SISTEM PENGATURAN SUHU PADA *PROTOTYPE* OVEN PENDING CAT (*PAINT BOOTH*) MENGGUNAKAN SENSOR DHT22 BERBASIS ARDUINO MEGA 2560 DENGAN KENDALI PID

Kennaldo Silvano<sup>\*)</sup>, Aris Triwiyatno, and Budi Setiyono

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: kennaldo.silvano@gmail.com

## Abstrak

Pada era teknologi yang semakin berkembang saat ini, segala hal dituntut untuk tepat, praktis, dan otomatis, salah satunya untuk menciptakan kemudahan dalam suatu hal. Pekerjaan individu akan lebih mudah dilakukan dengan adanya alat bantu yang terintegrasi sistem otomatis ini. Seperti halnya bengkel body shop, bengkel tersebut membutuhkan paint booth untuk melakukan pengecatan. Paint booth adalah ruangan yang digunakan untuk proses pengecatan dengan menjaga kebersihan serta suhu dalam ruang. Sistem yang terintegrasi pada paint booth ini berjalan secara otomatis. Penelitian ini dirancang prototype paint booth otomatis berbasis mikrokontroler arduino. Pemanas yang dibantu dengan kipas akan digunakan untuk mengatur suhu dalam sistem ini. Sensor yang digunakan dalam sistem ini adalah sensor suhu berjenis DHT22 yang akan dijadikan sebagai masukan mikrokontroler dan keluaran mikrokontroler berupa pemanas listrik. Pada alat ini juga akan diberikan start/stop push button untuk trigger, keypad untuk melakukan pengaturan mode, dan LCD sebagai indikator setiap proses. Penelitian ini menghasilkan prototype paint booth yang dapat mengontrol suhu dalam range 30 °C - 55 °C dengan baik menggunakan kontrol PID trial and error. Pada hasil pengujian pengeringan cat terdapat peningkatan waktu pengeringan selama 60 menit antara pengeringan di dalam dengan di luar prototype paint booth.

*Kata kunci: Paint Booth, Mikrokontroler Arduino, Kontrol PID*

## Abstract

In the current era of emerging technologies, everything is required to be precise, practical, and automated, one of which is to create ease in one way. Individual work will be easier to do with the integrated automated system. As in auto body shop, the workshop requires paint booth do to the painting. Paint Booth is a room that used for painting process by maintaining dust free and temperature in the room. The integrated system in this paint booth run automatically. This research designed prototype paint booth based on arduino microcontroller. Heater and fans will be used to regulate the temperature in this system. A DHT22 type temperature sensor that will serve as a microcontroller input, and a heater that will serve as microcontroller output. This prototype will also be given start/stop push button for trigger, keypad for mode choosing and LCD for indicator in every process. This research produced a prototype paint booth that can control the temperature within a certain temperature range 30 °C - 55 °C by using PID trial and error controls. In the drying paint test results, there are 60 minutes time improvement between drying inside and outside the prototype paint booth.

*Keywords: Paint Booth, Microcontroller Arduino, PID Controller*

## 1. Pendahuluan

*Auto Body Repair* atau bisa disebut dengan perbaikan *body* kendaraan adalah suatu perbaikan pada sebuah kendaraan yang mana kendaraan tersebut mengalami kerusakan dalam bidang *body*. Ada beberapa proses dalam hal perbaikan *body* dengan melalui berbagai alur proses perbaikan salah satunya adalah *refinishing* (pengecatan ulang) [1].

*Paint booth* memiliki 2 mode dasar yaitu *coating* dan *drying*. Temperatur udara yang dibutuhkan dalam ruangan pada saat *coating* bersuhu normal sekitar 26 °C dan pada saat mode *drying* suhu ruangan biasanya mencapai antara 40 °C - 60 °C [2].

Penelitian sebelumnya telah dibuat perancangan otomatisasi *paint booth* dengan menggunakan PLC. Proses yang dilakukan menggunakan kontrol PID terhadap dua buah mode *coating* dan *drying* dengan menggunakan *set*

point mode coating 25 °C dan set point mode drying 60 °C. Paint booth memiliki spesifikasi minimum dalam pengaturan suhu untuk mode coating 21 °C. Pada standar industri otomotif setiap kelipatan 15 °C diatas 21 °C, proses pengeringan mengalami 2 kali lebih cepat [3]. Dari hasil penelitian ini diperoleh bahwa penggunaan pemanas berpengaruh dalam sistem ini. Penempatan sensor suhu terpengaruh oleh aliran udara didalam paint booth [4]. Pembacaan sensor DHT22 cukup cepat, namun sensor memiliki penurunan suhu yang lama [5].

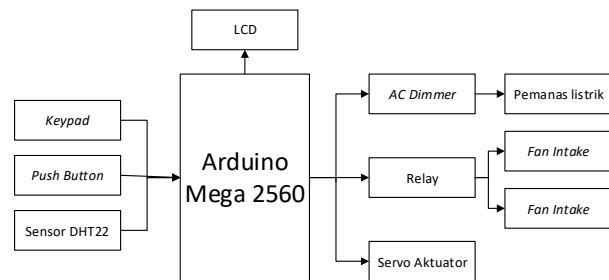
Berdikari Auto Body Shop ingin menambah 1 unit paint booth lagi tanpa harus membelinya. Dengan menambahkan 1 unit paint booth lagi maka akan meningkatkan kinerja bengkel dalam hal kecepatan memperbaiki kendaraan [6]. Maka dari itu dalam penelitian kali ini akan dirancang prototype paint booth dengan prinsip kerjanya sama seperti paint booth pada umumnya yang memiliki mode coating dan drying dengan menggunakan mikrokontroler berbasis Arduino yang diharapkan dapat mengatur suhu seperti yang diinginkan.

## 2. Metode

### 2.1. Perancangan Sistem Secara Umum

Secara umum perancangan sistem elektronik untuk membuat sistem kontrol suhu pada prototype paint booth menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560 ditunjukkan oleh blok diagram pada Gambar 1. Penjelasan masing-masing blok prototype paint booth pada Gambar 1 adalah sebagai berikut :

1. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang berfungsi sebagai pusat pengendali pada sistem pengaturan suhu ini di program menggunakan bahasa C [7].
2. Keypad dan push button berfungsi sebagai masukan untuk mengatur set point suhu, sebagai tombol start stop, dan sebagai pemilih menu.
3. LCD (Liquid Crystal Display) digunakan sebagai media tampilan selama proses pengendalian berlangsung.
4. Sensor suhu DHT22 merupakan sensor yang akan mendeteksi perubahan suhu pada ruangan cat. Keluaran sensor ini sudah berupa digital.
5. Motor servo sebagai penggerak pintu udara.
6. Pemanas listrik dengan daya 750 watt dengan sumber tegangan AC yang berfungsi sebagai aktuator.
7. AC dimmer adalah rangkaian yang berfungsi untuk mengendalikan tegangan beban dengan memberi tunda pemicuan triac. Komponen utama pengatur tegangan AC berupa triac dan optoisolator MOC3041.
8. Relay digunakan sebagai penggerak kipas intake dan kipas outake.



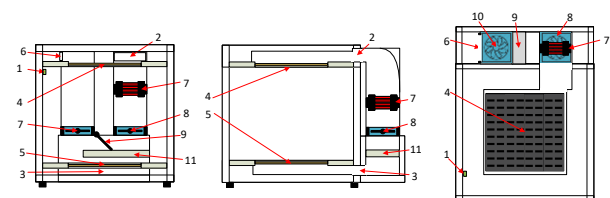
Gambar 2. Diagram blok perancangan perangkat keras

### 2.2. Perancangan Hardware

Perancangan perangkat keras (hardware) dibagi menjadi perancangan mekanik, perancangan sistem mikrokontroler Arduino Mega 2560, dan perancangan software. Berikut penjabaran dari perancangan perangkat keras pada penelitian ini.

#### 2.2.1. Perancangan Mekanik

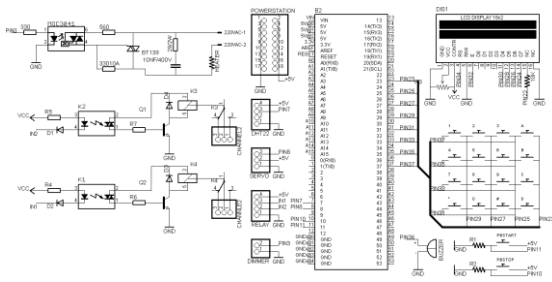
Desain prototype paint booth ini memiliki jalur udara masuk (intake) dan jalur udara keluar (outake) secara terpisah. Agar dapat mengubah mode antara coating dan drying diperlukan pintu udara seperti nomor 9 pada Gambar 2. Lubang udara ditunjukkan pada nomor 4 sebagai lubang udara atas dan nomor 5 sebagai lubang udara bawah pada Gambar 2. Sementara pemanas ditunjukkan pada nomor 7. Jenis paint booth yang digunakan dalam penelitian ini berupa downdraft dimana aliran udara yang berudara didalam ruang cat mengalir dari atas kebawah.



Gambar 2. Perancangan Mekanik Prototype paint booth.

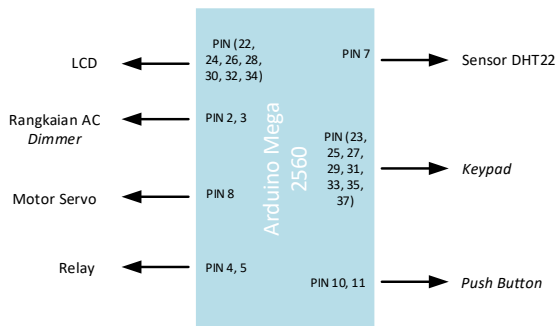
#### 2.2.2. Perancangan Sistem Mikrokontroler Arduino Mega 2560

Secara umum perancangan sistem elektronik kontrol suhu pada prototype paint booth ini ditunjukkan pada Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan bahwa masukan dari mikrokontroler adalah 2 buah push button yang terhubung ke pin 10 dan 11, sensor DHT22 yang terhubung ke pin 7. Sementara keluaran dari mikrokontroler yang berupa motor servo terhubung ke pin 8, rangkaian AC dimmer yang terhubung ke pin 3, relay 2-channel yang terhubung ke pin 5 dan 4. LCD pada perancangan ini terhubung melalui pin 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34. Pin 22 yang terhubung ke LCD merupakan kaki katoda LCD, hal ini dilakukan agar backlight LCD menjadi indikator.



Gambar 3. Rangkaian skematik mikrokontroler Arduino Mega 2560.

Adapun alokasi penggunaan pin pada rangkaian mikrokontroler Arduino Mega 2560 dapat dilihat pada Gambar 4.



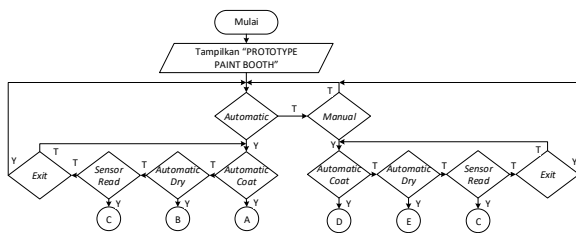
Gambar 4. Alokasi Port mikrokontroler Arduino Mega 2560.

### 2.3. Perancangan Software

Perancangan perangkat lunak (*software*) untuk sistem *porotype paint booth* ini menggunakan bahasa C dengan menggunakan *compiler* Arduino IDE dan menggunakan *microsoft visio* untuk membuat diagram alir dari sistem penelitian ini.

#### 2.3.1. Perancangan Diagram Alir Sistem

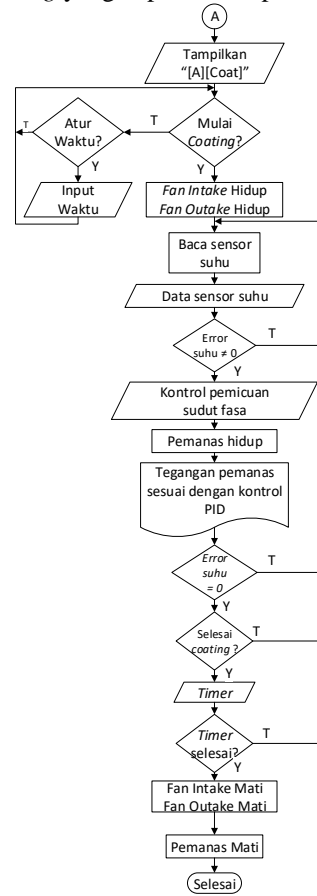
Dalam penelitian ini diagram alir yang dimaksud adalah alur jalannya program saat dijalankan. Diagram alir (*flowchart*) sistem pada Gambar 6 menunjukkan alur kerja menu sistem secara umum pada *prototype paint booth*.



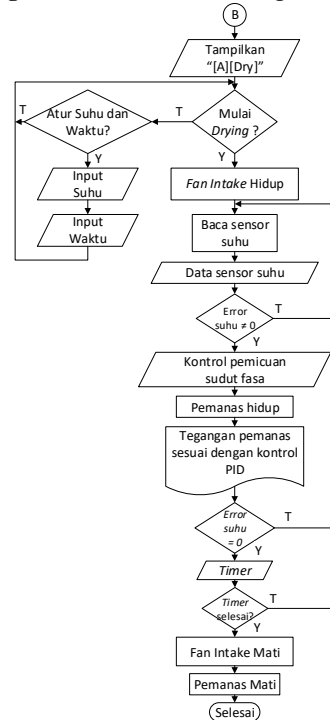
Gambar 5. Diagram alir menu.

Diagram alir kontrol *automatic* merupakan salah satu pilihan menu awal *prototype paint booth*. Didalam menu ini terdapat 4 pilihan sub menu yang masing menjalankan

program yang berbeda. Sub menu yang pertama adalah *Automatic Coating* yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 6. Diagram alir *automatic coating*.

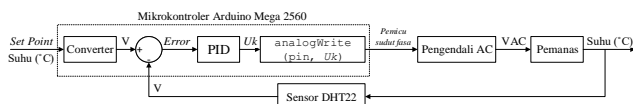


Gambar 7. Diagram alir *automatic drying*.

Dalam diagram alir yang digambarkan pada Gambar 6, yang dapat diatur pada system adalah waktu setelah selesai *coating*, sementara *set point* suhu tetap pada 30 °C. Sub menu selanjutnya adalah *automatic drying* yang dapat dilihat pada Gambar 7. Sub menu ini menjalankan program mode *drying* secara otomatis menggunakan kontrol PID sama halnya dengan mode *automatic coating*. Pada sub menu ini suhu dan waktu dapat diatur sesuai yang diinginkan. *Timer* akan mulai ketika suhu sudah mencapai *set point*, dan ketika *timer* selesai maka proses *drying* selesai. Pada menu ini pengaturan suhu dibatasi antara 40 °C sampai 60 °C dan pengaturan waktu berupa menit.

### 2.3.2. Perancangan PID Controller

Dalam Penelitian ini perancangan sistem kontrol suhu pada *prototype paint booth* ini menggunakan kotroler PID dengan *tunning trial and error*.



Gambar 8. Diagram alir *automatic coating*.

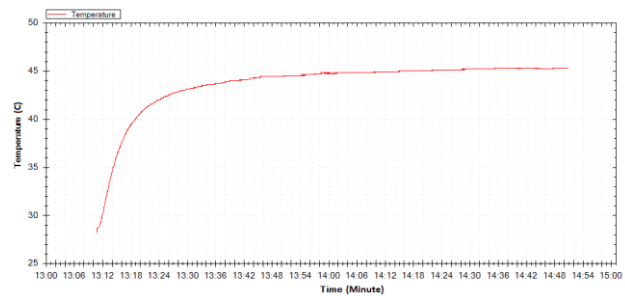
Gambar 8 menunjukkan diagram blok kontroler *prototype paint booth* dengan kontroler PID. Pada gambar ditunjukkan bahwa sensor DHT22 memberi masukan suhu.

## 3. Hasil dan Analisa

Pada Penelitian ini tentang perancangan sistem pengaturan suhu pada *prototype paint booth* dengan menggunakan kontrol PID dilakukan beberapa pengujian sistem. Secara garis besar, pengujian pada sistem ini dibagi menjadi beberapa bagian yaitu, pengukuran catu daya, pengujian sensor DHT22, pengujian LCD, pengujian *keypad* dan *push button*, dan pengujian kontroler.

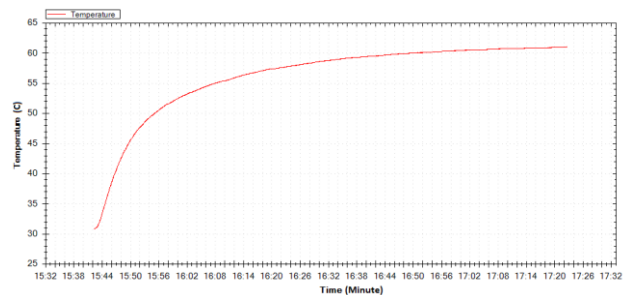
### 3.1. Pengujian Kalang Terbuka

Untuk mengetahui karakteristik *plant* suhu yang akan dikendalikan, maka dilakukan pengujian secara kalang terbuka. Pengujian kalang terbuka ini dilakukan dengan cara mengirimkan nilai *duty cycle 100 %* ke rangkaian pemanas. Pengujian ini dilakukan terhadap kedua mode dalam *prototype paint booth*. Pada pengujian mode *coating*, sistem *prototype paint booth* berjalan pada mode *coating*, dimana kipas *intake* dan kipas *outake* menyala dan pintu udara terbuka. Respon pengujian kalang terbuka pada mode *coating* diperlihatkan seperti pada Gambar 9. Pengujian respon sistem kalang terbuka mode *coating* dimulai dari pukul 13:10 dan berhenti pada pukul 14:51..



Gambar 9. Respon sistem pengujian kalang terbuka mode *coating*.

Pengujian kalang terbuka menunjukkan bahwa dengan nilai PWM 255 dan dengan suhu awal 28,2 °C maka setelah 5812 detik suhu udara dalam ruang cat stabil pada suhu 45,3 °C. Pada pengujian ini, sistem *prototype paint booth* berjalan pada mode *drying*, dimana hanya kipas *intake* yang menyala dan pintu udara tertutup. Respon pengujian kalang terbuka diperlihatkan pada mode *drying* diperlihatkan seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Respon sistem pengujian kalang terbuka mode *coating*.

Pengujian respon sistem kalang terbuka pada mode *drying* dimulai dari pukul 15:45 dan berhenti pada pukul 17:25. Pengujian kalang terbuka pada mode *drying* menunjukkan bahwa dengan nilai PWM 255 dan dengan suhu awal 30,5 °C maka setelah 5920 detik suhu udara dalam ruang cat stabil pada suhu 61 °C.

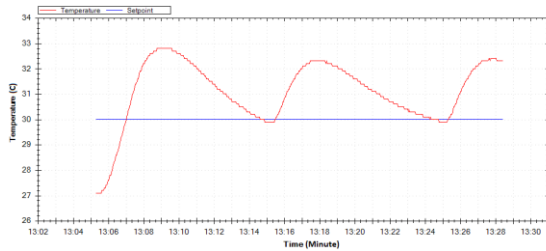
### 3.2. Pengujian Kontroler

Pengujian ini dilakukan dengan melihat respon sistem untuk mengatur suhu dengan *set point* yang ditentukan sebelumnya, yaitu pada mode *coating* 30 °C dan pada mode *drying* 45 °C. Khusus pada mode *drying*, dilakukan pengujian dengan *set point* yang bervariasi. Pengujian kontroler PID ini menggunakan metode *trial and error*. Beberapa pengujian dalam bab ini adalah pengujian kontrol *on-off*, pengujian kontrol PID mode *coating*, pengujian kontrol PID mode *drying*, dan pengujian *set point* kontrol PID pada mode *drying*. Pada pengujian PID dilakukan untuk dapat menemukan respon system yang baik, sehingga diperlukan *tunning* parameter *gain* PID yaitu  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  yang tepat terlebih dahulu. Dengan

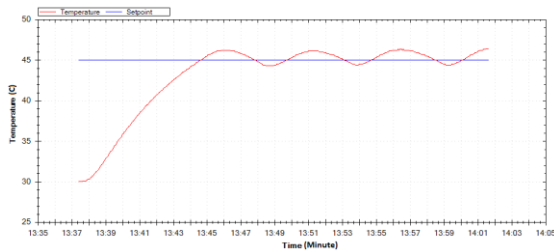
menggunakan metode *trial and error* maka dilakukan variasi nilai parameter  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  secara acak [8]. Proses pencarian parameter tersebut dimulai dari parameter P, kemudian PD, dan PID.

**3.2.1. Pengujian Sistem Kontrol On-Off**

Pengujian kontrol *on-off* ini dilakukan terhadap kedua mode dalam penelitian *prototype paint booth* yaitu mode *coating* dan mode *drying*. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, *set point* pada pengujian ini adalah 30 °C untuk mode *coating* sedangkan pada mode *drying* menggunakan *set point* 45 °C. Pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12 dalam berentuk respon sistem.



Gambar 11. Respon sistem kontrol *on-off* mode *coating*.



Gambar 12. Respon sistem kontrol *on-off* mode *drying*.

Tabel 1. Data pengujian kontrol *on-off*.

No	Mode	$t_r$ (s)	$t_p$ (s)	$t_s$ (s)	Keterangan
1	Coating	104	232	-	Osilasi
2	Drying	430	522	689	Stabil, terdapat <i>error steady state</i>

Dari data yang ditunjukkan pada Tabel 1, hasil pengujian kontrol *on-off* pada kedua mode adalah beresilasi pada mode *coating* dan terdapat *error steady state* pada mode *drying*.

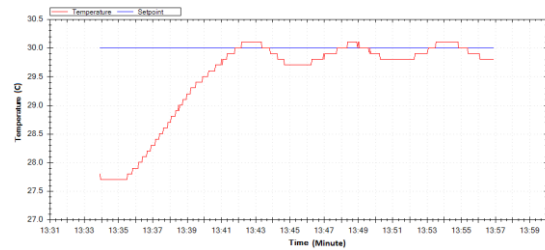
**3.2.2. Pengujian Sistem Kontrol PID Pada Mode Coating**

1. Kontroler P

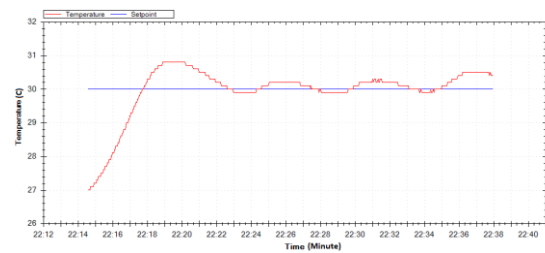
Pengujian sistem menggunakan kontroler P dilakukan dengan memberikan nilai gain proporsional yang bervariasi pada sistem. Pemberian variasi nilai  $K_p$  mulai dari 1, 5, 8, 10, dan 20. Dengan memberi nilai parameter  $K_i$  sebesar 0 dan  $K_d$  sebesar 0.

Gambar 13, Gambar 14, dan Gambar 15 menunjukkan respon sistem yang didapat dari pengujian. Dapat diketahui nilai waktu naik ( $t_r$ ), waktu puncak ( $t_p$ ), dan *settling time*

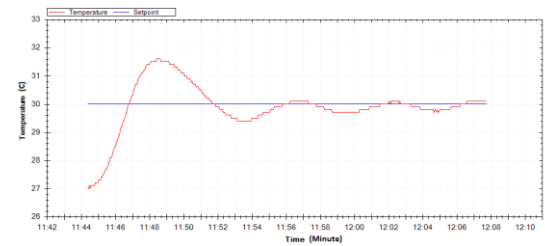
( $t_s$ ). Data dari setiap respon sistem dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 13. Respon sistem dengan  $K_p = 1$ .



Gambar 14. Respon sistem dengan  $K_p = 8$ .



Gambar 15. Respon sistem dengan  $K_p = 20$ .

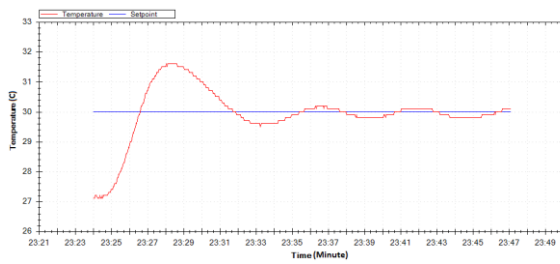
Tabel 2. Hasil waktu respon sistem parameter P.

No.	$K_p$	$K_i$	$K_d$	$t_r$ (s)	$t_p$ (s)	$t_s$ (s)	Keterangan
1.	1	0	0	484	510	780	Osilasi Stabil,
2.	8	0	0	187	264	540	<i>overshoot</i> kecil
3.	20	0	0	125	247	543	Stabil, <i>overshoot</i> besar

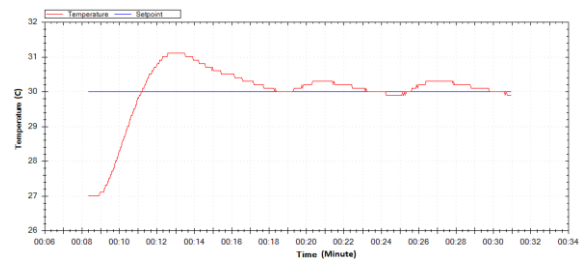
Dari hasil respon sistem, dapat diambil kesimpulan bahwa nilai *gain* terbaik adalah saat  $K_p=20$ ,  $K_i=0$ ,  $K_d=0$ . Pada saat parameter PID diberi nilai *gain* tersebut, sistem memiliki respon naik 125 detik, waktu puncak 247 detik, dan *settling time* sebesar 543 detik. Pada pengujian ini disimpulkan bahwa sistem sudah stabil menggunakan kontrol P dengan nilai  $K_p$  yang digunakan sebesar 20.

2. Kontroler PD

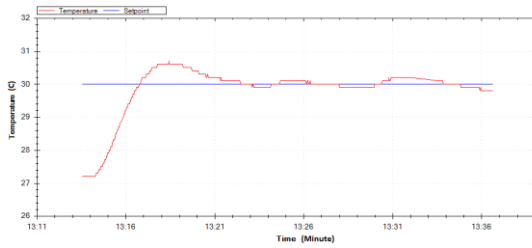
Pengujian selanjutnya dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter  $K_d$  dengan cara memberikan nilai  $K_p$  konstan yang telah didapat dan variasi  $K_d$  pada system.



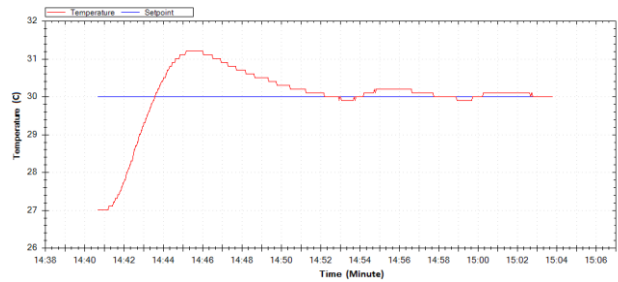
Gambar 16. Respon sistem dengan  $K_p = 20$  dan  $K_d = 0,01$ .



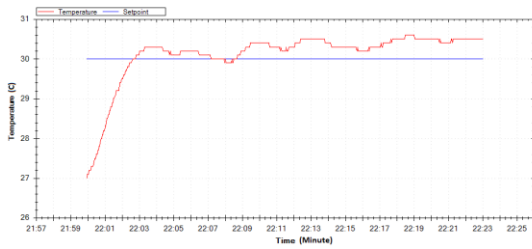
Gambar 19. Respon sistem dengan  $K_p = 20$ ,  $K_i = 0,01$ , dan  $K_d = 100$ .



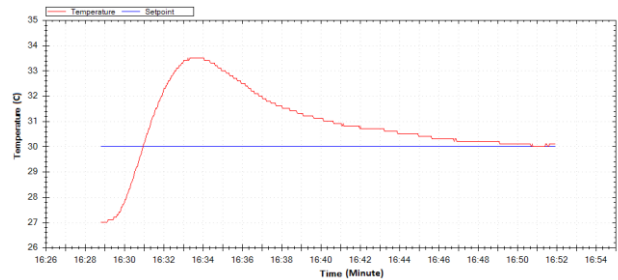
Gambar 17. Respon sistem dengan  $K_p = 20$  dan  $K_d = 100$ .



Gambar 20. Respon sistem dengan  $K_p = 20$ ,  $K_i = 1$ , dan  $K_d = 100$ .



Gambar 18. Respon sistem dengan  $K_p = 20$  dan  $K_d = 500$ .



Gambar 21. Respon sistem dengan  $K_p = 1$ ,  $K_i = 10$ , dan  $K_d = 100$ .

Tabel 3. Hasil respon sistem parameter PD.

No.	$K_p$	$K_i$	$K_d$	$t_r(s)$	$t_p(s)$	$t_s(s)$	Keterangan
1.	20	0	0,01	484	510	780	Osilasi Stabil,
2.	20	0	100	187	264	540	overshoot kecil
3.	20	0	500	125	-	-	Stabil, overshoot besar

Berdasarkan data yang dihasilkan pada pengujian ini yang dapat dilihat pada Gambar 16 sampai dengan Gambar 18 dan Tabel 3. Dapat disimpulkan bahwa sistem respon terbaik pada pengujian kontrol PD ini pada pemberian parameter  $K_d$  sebesar 100, karena sudah mengurangi overshoot pada pengujian sebelumnya.

### 3. Kontroler PID

Pengujian kontroler PID digunakan untuk mengetahui apakah parameter  $K_d$  dapat memperbaiki sistem menjadi lebih baik. Pengujian dilakukan dengan memberikan nilai  $K_p$  dan  $K_i$  yang konstan kemudian memberikan nilai  $K_d$  yang bervariasi.

Dari variasi nilai  $K_i$  yang diberikan pada Gambar 19, Gambar 20, dan Gambar 21, didapat data yang dapat dilihat pada Tabel 4 dari respon system.

Tabel 4. Hasil respon sistem parameter PID.

No.	$K_p$	$K_i$	$K_d$	$t_r(s)$	$t_p(s)$	$t_s(s)$	Keterangan
1.	20	0,01	100	169	283	1017	Stabil
2.	20	1	100	170	353	782	Stabil, settling time kecil
3.	20	10	100	109	291	-	Overshoot besar

Dari pengujian kontroler P, PD, dan PID, didapat kesimpulan bahwa parameter PID sudah dapat membuat sistem menjadi lebih baik. Dengan nilai  $K_p = 1$ ,  $K_i = 10$ , dan  $K_d = 100$ . Tabel 5 menunjukkan hasil respon system kontrol on-off dan kontrol PID yang telah didapat. Dari hasil tersebut maka dapat disimpulkan bahwa dengan

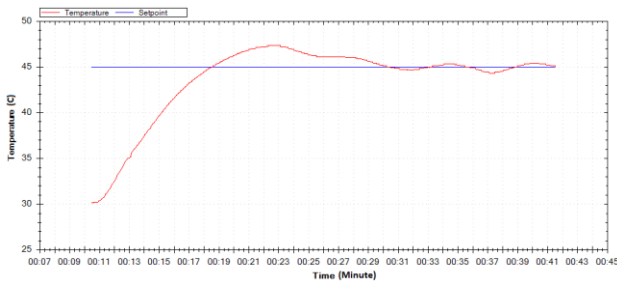
menggunakan kontroler PID dapat membuat respon sistem lebih stabil.

Tabel 4. Hasil respon sistem kontrol *on-off* dan kontrol PID.

No	Kontroler	$t_r$ (s)	$t_p$ (s)	$t_s$ (s)	Keterangan
1	<i>On - off</i>	104	232	-	Osilasi
2	PID	170	353	782	Stabil, <i>settling time</i> kecil

### 3.2.2. Pengujian Sistem Kontrol PID Pada Mode Drying

Pada pengujian PID mode *drying* ini dilakukan menggunakan parameter PID yang telah didapat pada pengujian mode *coating*. Dengan memberikan parameter PID yaitu  $K_p = 1$ ,  $K_i = 1$ , dan  $K_d = 100$ , *set point* 40 °C.



Gambar 20. Respon sistem *set point* 45° C pada mode *drying*.

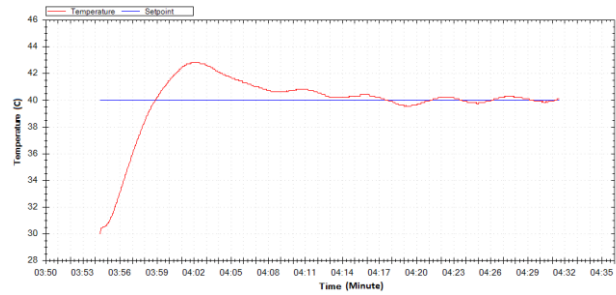
Tabel 5. Hasil respon sistem kontrol *on-off* dan kontrol PID.

No	Kontroler	$t_r$ (s)	$t_p$ (s)	$t_s$ (s)	Keterangan
1	<i>On - off</i>	430	522	689	Osilasi
2	PID	424	675	1255	Stabil, <i>settling time</i> tinggi, <i>error steady state</i> kecil

Gambar 20 merupakan gambar respon sistem kendali PID pada mode *drying*. Dari hasil respon sistem yang didapat, dapat disimpulkan bahwa penggunaan parameter yang telah ditentukan dalam pengujian mode *coating* masih bisa digunakan dalam mode *drying* karena sistem masih dapat distabilkan. Dari Tabel 5 hasil respon sistem kontrol *on-off* dan kontrol PID maka dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan kontroler PID respon sistem pada mode *drying* lebih stabil dibandingkan dengan kontrol *on-off* meskipun memiliki *settling time* yang tinggi.

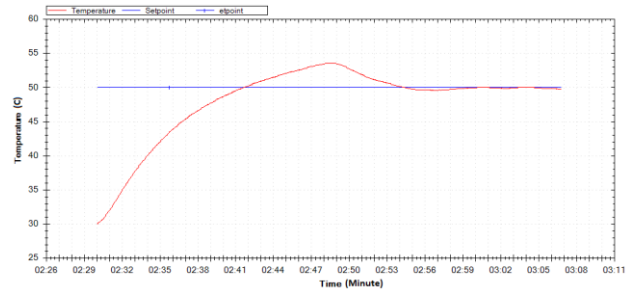
### 3.2.3. Pengujian Set Point Pada Mode Drying

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, hasil pengujian parameter PID pada mode *drying* didapatkan parameter PID sebesar  $K_p = 1$ ,  $K_i = 1$ , dan  $K_d = 100$ . Pada pengujian ini akan diuji parameter PID yang didapat dengan variasi *set point* yang diberikan. *Set point* yang diberikan yaitu 40 °C, 50 °C, 55 °C, dan 60 °C.

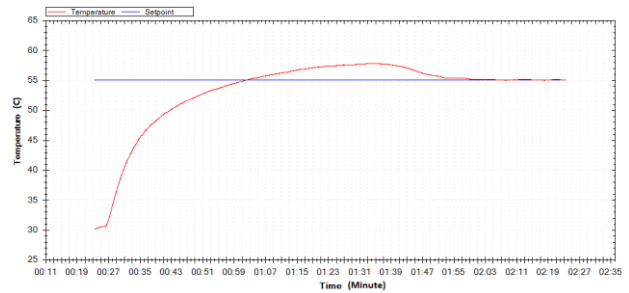


Gambar 21. Respon sistem *set point* 40 °C pada mode *drying*.

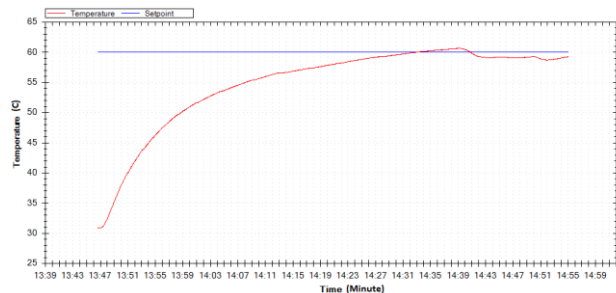
Gambar 21, Gambar 22, Gambar 23, dan Gambar 24 menunjukkan hasil grafik dari pengujian *set point* parameter PID. Pada Pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa parameter PID yang didapat pada pengujian sebelumnya masih dapat mengoptimalkan sistem saat *set point* yang diberikan yaitu 40 °C, 45 °C, 50 °C, dan 55 °C.



Gambar 22. Respon sistem *set point* 50° C pada mode *drying*.



Gambar 23. Respon sistem *set point* 55° C pada mode *drying*.



Gambar 24. Respon sistem *set point* 60° C pada mode *drying*.

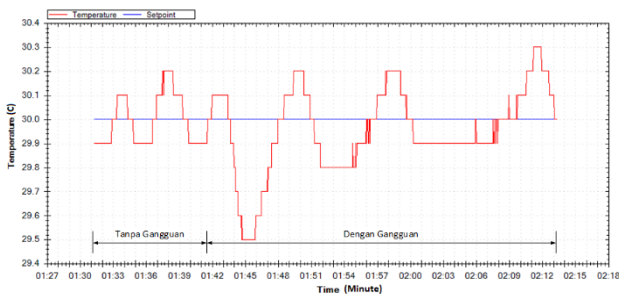
Tabel 6. Hasil respon sistem variasi set point mode drying.

No.	Set Point (C)	t <sub>r</sub> (s)	t <sub>p</sub> (s)	t <sub>s</sub> (s)	Keterangan
1.	40	268	523	1559	Stabil
2.	50	694	1110	1759	Stabil
3.	55	2177	4091	6103	Stabil
4.	60	2721	2849	-	Tidak steady state

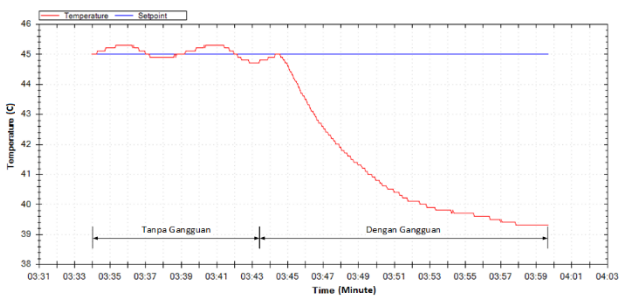
Tabel 6 menunjukkan hasil respon sistem pada pengujian ini. Dapat dilihat didalam tabel tersebut bahwa pengujian set point pada suhu 55 °C dan 60 °C tidak terdapat settling time dalam waktu pengambilan data. Ini dikarenakan parameter PID sebelumnya belum bisa membuat respon sistem yang baik.

### 3.2.4. Pengujian Gangguan

Pada tahap ini, sistem pengendalian suhu pada prototype paint booth diuji dengan gangguan. Gangguan yang digunakan dalam pengujian ini berupa membuka pintu ruang cat dengan sudut yang bervariasi. Sistem kontrol diberikan gangguan ketika sistem telah mencapai set point dan stabil selama 10 menit. Gangguan ini diberikan untuk mengetahui kinerja sistem terhadap menangani gangguan yang ada pada sistem pengendalian suhu prototype paint booth. Pengujian ini dilakukan pada mode coating dan mode drying.



Gambar 25. Respon sistem mode coating terhadap gangguan 45°.



Gambar 26. Respon sistem mode drying terhadap gangguan 45°.

Gambar 25 menunjukkan respon sistem hasil pengujian pada mode coating. Ketika sistem diberi gangguan, suhu mengalami penurunan menjadi 29,5 °C. Pada kondisi ini, sistem mengembalikan suhu mencapai set point dengan waktu naik 255 detik, waktu puncak sebesar 360 detik, maximum overshoot sebesar 0,66 %, dan settling time sebesar 701 detik terhitung dari sistem mendapat gangguan. Gambar 26 menunjukkan respon sistem hasil pengujian pada mode drying. Sistem mengalami penurunan suhu menjadi 39,4 °C dan tidak naik kembali mencapai set point. Pada gambar 4.42 dengan gangguan 45 °C juga mengalami hal yang serupa. Sistem mengalami penurunan suhu menjadi 39,4 °C dan tidak naik kembali mencapai set point.

### 3.2.5 Pengujian Pengeringan Cat

Pada pengujian ini dilakukan pengujian pengeringan cat di luar oven dan di dalam oven untuk membedakan lama waktu pengeringan. Pengamatan pengeringan cat dengan menggunakan finger flash testing [1] untuk mengetahui media yang dicat cukup kering untuk pegecatan selanjutnya. Urutan pegecatan yang dilakukan dalam pengujian ini adalah 2 lapis cat primer, 2 lapis cat warna, 2 lapis cat pernis. Gambar 27 merupakan gambar pelapisan cat yang digunakan dalam pengujian ini. Pada pengujian di luar oven didapatkan total waktu yang dibutuhkan untuk mengeringkan cat adalah 1 jam 6,3 menit sementara pada pengujian di dalam oven waktu pengeringan cat adalah 46,3 menit. Terdapat beda waktu yang signifikan dikarenakan suhu pengeringan di luar dan di dalam oven berbeda.



Gambar 27. Lapisan cat.

## 4. Kesimpulan

Dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa pengujian dalam mode coating dan mode drying kontrol PID jika membandingkan antara kontrol on-off mendapatkan hasil respon sistem yang lebih baik. Sistem kontrol PID pada mode coating dapat mempertahankan suhu sebesar 30 °C sedangkan pada mode drying pada suhu 45 °C. Pada penalaan parameter PID dengan metode trial and error, didapatkan nilai penguin terbaik yaitu  $K_p = 1$ ,  $K_i = 1$ , dan  $K_d = 100$  untuk kedua mode. Respon sistem pada mode coating memiliki waktu naik 170 detik, waktu puncak 353 detik dan settling time sebesar 782 detik. Sedangkan pada



mode *drying* didapatkan waktu naik sebesar 424 detik, waktu puncak 765 detik, dan *settling time* sebesar 1255. Pada mode *drying*, sistem memiliki kontrol *range* suhu 40 °C-55 °C. Sistem dapat merespon gangguan dengan baik pada mode *coating*. Hasil pengujian pengeringan cat di luar oven memakan waktu 1 jam 6,3 menit untuk cat mengering dan pengujian di dalam oven memakan waktu 46,3 menit untuk cat mengering.

## Referensi

- [1]. J. Duffy, *Auto Body Repair Technology*. 2015.
- [2]. "Choosing The Right Paint Booth For You | Accudraft." [Online]. Available: <http://www.accudraftpaintbooths.com/blog/choosing-the-right-paint-booth-for-you/>. [Accessed: 01-Nov-2016].
- [3]. "Paint Booth Temperature Settings – A Practical Guide – GFS Booth Blog." [Online]. Available: <https://gfsboothblog.com/2012/04/20/paint-booth-temperature-settings-a-practical-guide/>. [Accessed: 18-May-2017].
- [4]. P. Niko, "A model of the refinishing spray booth as a plant of automatic control," no. August, 2015.
- [5]. I. A. B. Andhika, "MONITORING SUHU PEMANAS PORTABLE BERBASIS ARDUINO YANG," 2017.
- [6]. Arduino, "Arduino Mega 2560," <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>, p. 2560, 2014.
- [7]. "About | Berdikari Auto Bodyshop," 2016. [Online]. Available: <http://www.berdikaribodyshop.com/about/>.
- [8]. Katsuhiko Ogata and K. Ogata, *Modern Control Engineering*, vol. 17. 1970.