

SISTEM KONTROL PENGURAIAN ASAP ROKOK PADA RUANGAN TERTUTUP MENGGUNAKAN METODE PID

CONTROL SYSTEM OF CIGARETTE DESCRIPTION IN CLOSED ROOM USING PID METHOD

Samuel Pratama Gultom¹, Porman Pangaribuan², Brahmantya Aji Pramudita³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

¹sgultom@student.telkomuniversity.ac.id, ²porman@telkomuniversity.ac.id,

³brahmantyaajip@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Merokok merupakan kegiatan yang banyak dilakukan oleh manusia diseluruh dunia, biasanya dilakukan saat berkumpul bersama untuk membuat suasana lebih santai dan menyenangkan, meskipun sudah diketahui secara umum bahwa rokok dapat menyebabkan gangguan kesehatan. Maka dari penelitian ini penulis merancang dan membuat sebuah purwarupa sistem kontrol pengurai asap rokok pada ruangan tertutup menggunakan metode PID. Penguraian asap rokok secara otomatis menggunakan *ozonizer* DIY *ozone* generator untuk menghasilkan proses ionisasi. Purwarupa yang dirancang dengan metode PID berhasil memperbaiki *output* sistem dengan parameter $K_p=10$, $K_i=1$, dan $K_D=1$. Dengan nilai PID tersebut *output* sistem memiliki peak time sebesar 6 detik, overshoot sebesar 6313,53 dan waktu untuk memindahkan asap ke ruang penguraian selama 57 detik. Penguraian karbon monoksida yang terdapat di dalam asap rokok dengan variasi 1 hembusan dengan konsentrasi tertinggi 248,46 PPM membutuhkan waktu 21 detik untuk diuraikan, 2 hembusan dengan konsentrasi tertinggi 288,31 PPM membutuhkan waktu 23 detik untuk diuraikan, dan 3 hembusan dengan konsentrasi tertinggi 323,11 PPM membutuhkan waktu 30 detik untuk diuraikan.

Kata kunci : *Asap rokok, mikrokontroler, ozonizer DIY ozone generator . PID*

Abstract

Smoking is an activity that is mostly done by humans around the world, usually when they gather together to make the atmosphere more relaxed and pleasant, although it is generally known that smoking can cause health problems. So from this study the authors designed and made a prototype of a cigarette smoke decomposition control system in a closed room using the PID method. The decomposition of cigarette smoke automatically uses an ozonizer DIY ozone generator to produce an ionization process. The prototype designed using the PID method succeeded in improving the output system with parameters $K_p=10$, $K_i=1$, and $K_D=1$. With the PID value, the output system has a peak time of 6 seconds, an overshoot of 6313,53 and a time to move the smoke to the decomposition chamber for 57 seconds. Decomposition of carbon monoxide contained in cigarette smoke with variations of 1 puff with the highest concentration of 248,46 PPM takes 21 seconds to decompose, 2 puffs with the highest concentration of 288,31 PPM takes 23 seconds to decompose, and 3 puffs with the highest concentration of 323,11 PPM takes 30 seconds to parse.

Keywords: *cigarette smoke, microcontroller, ozone generator DIY ozone generator . PID*

1. Pendahuluan

Merokok merupakan suatu kegiatan yang banyak dilakukan oleh manusia di seluruh dunia, meskipun sudah diketahui secara umum bahwa rokok dapat menyebabkan gangguan kesehatan pada perokok itu sendiri atau yang disebut juga dengan perokok aktif dan juga orang di sekitarnya yang disebut perokok pasif. Menurut laporan *World Health Organization* (WHO) pada saat ini terdapat lebih kurang 1 milyar perokok di dunia dan perokok aktif tersebut mengkonsumsi sekitar lebih kurang 6 triliun rokok setiap tahunnya [1]. Data Riset Kesehatan Dasar (Riskesmas) menyatakan terdapat peningkatan jumlah perokok pada rentang usia 10 Tahun dari 28,8% pada tahun 2013 menjadi 29,3% pada tahun 2018 [2].

Hasil dari pembakaran rokok memiliki kandungan zat kimia yang berbeda tergantung dari besarnya konsentrasi tarikan asap yang dilakukan perokok. Namun secara umum kandungan dalam rokok yang paling sering ditemukan adalah nikotin, tar, dan karbon monoksida (CO) [3]. Asap setelah merokok yang mengandung karbon monoksida biasanya dikeluarkan begitu saja oleh perokok. Hal itu akan sangat berbahaya jika asap rokok mengendap di dalam ruangan karena akan mengganggu sistem pernafasan orang yang berada di dalam ruangan tersebut. Jika asap rokok langsung dikeluarkan begitu saja ke luar ruangan maka dampak buruk akan terjadi bagi lingkungan.

Ditinjau dari permasalahan diatas, Alat ini akan menguraikan karbon monoksida yang terdapat di dalam asap rokok dengan menimbulkan peristiwa lucutan korona dan sinar ultraviolet sehingga penguraian asap akan lebih efisien dan aman bagi pengguna dan lingkungan. Alat ini juga mengeluarkan hasil penguraiannya dalam bentuk oksigen(O₂) dan ozon (O₃). Alat yang dirancang akan memiliki dua ruangan dengan dua kipas DC *in* dan kipas DC *out*. Kipas *in* digunakan untuk menarik kepulan asap rokok dari ruangan asap rokok ke ruangan penguraian dan akan dikendalikan sesuai dengan konsentrasi dari asap rokok, dan kipas *out* akan dikendalikan agar aktif saat karbon monoksida dalam ruang penguraian telah terurai.

2. Dasar Teori

2.1 Asap Rokok

Salah satu sikap masyarakat yang belum menampilkan sikap hidup sehat adalah merokok terkhusus di dalam ruangan. Asap rokok yang merupakan hasil pembakaran tembakau sangat mempengaruhi kesehatan terkhusus dalam sistem pernafasannya[4] Asap rokok yang dihasilkan oleh pembakaran satu batang rokok memiliki perbedaan yang ditinjau dari jenis rokok tersebut yaitu rokok filter dan kretek yang mana rokok kretek menghasilkan kepulan asap yang lebih tebal dan pekat dibandingkan dengan rokok filter[5].

Sel darah merah yang berfungsi membawa hemoglobin yang mengikat oksigen dalam sistem pernafasan malah akan lebih banyak mengandung karbon monoksida karena kandungan karbon monoksida lebih banyak pada ruangan tertutup yang terkontaminasi asap rokok. Jika kandungan oksigen dalam darah kurang dari 95% maka akan berdampak buruk bagi tubuh yang mengakibatkan gangguan kesehatan serius[6]. Reaksi yang terjadi antara oksigen dan karbon monoksida dengan darah dalam tubuh manusia adalah:



Ditinjau dari persamaan 2.1 reaksi yang terjadi antara oksigen dan karbon monoksida dengan darah. Kemampuan darah untuk mengikat oksigen akan menurun. Hal ini disebabkan karbon monoksida lebih mudah terikat dengan hemoglobin dan sesudah itu membentuk carboxyhaemoglobin (COHb)[7]. Penguraian yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk mengurangi polusi asap rokok di dalam ruangan sehingga kadar gas karbon monoksida (CO) berkurang.

2.2 Sistem Kendali

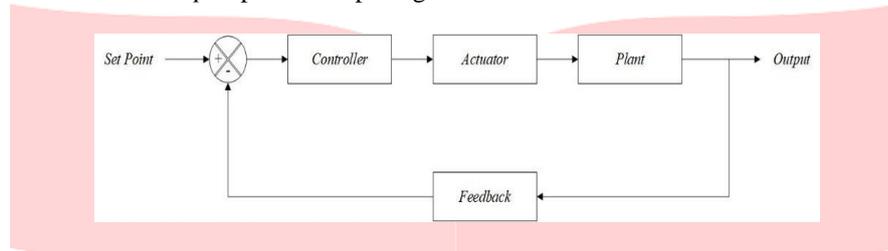
Sistem Kendali merupakan sebuah sistem dari suatu alat yang dapat mengendalikan, memberikan perintah, dan mengatur suatu keadaan atau kondisi dari suatu sistem tersebut. Secara umum sistem kendali dapat diklasifikasi menjadi beberapa sistem di antaranya sistem kendali manual dan otomatis, sistem *open loop* dan *closed loop*, sistem kendali *continue* dan *discrete*, dan sistem kendali berdasarkan sumber penggerakannya (elektrik, mekanik, pneumatik dan hidraulik)[8].

Untuk sistem kendali *open loop* merupakan suatu sistem di mana *output* tidak mempunyai pengaruh terhadap aksi kendali sehingga *output* tersebut tidak dapat digunakan sebagai *feedback* dalam *input*. Diagram blok sistem kendali *open loop* dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Sistem Kendali Open Loop

Untuk sistem kendali *closed loop* merupakan sistem kendali dimana sinyal *output* mempunyai pengaruh langsung pada aksi kendali sehingga memberikan *feedback*. Diagram blok sistem kendali *closed loop* dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Sistem Kendali Closed Loop

2.3 Metode Kendali PID

Kontroler PID terdiri dari tiga parameter, yaitu: P (Propotional), I (Integral), dan D (Derivative). Parameter P, I, dan D merupakan parameter yang dapat diatur dalam sistem yang akan dikontrol agar respon *outputsistem* sesuai terhadap input sistem yang diharapkan. Karena dengan metode PID,tingkat kestabilan dan waktu untuk mencapai kestabilan akan menjadi lebih baik [9].

2.3.1 Kontrol *Proporsional* (P)

Pengaruh pada sistem:

- Dapat memperbaiki respon transien khususnya pada *rise time* dan *settling time* menjadi lebih cepat
- Menambah atau mengurangi kestabilan
- Mengurangi (bukan menghilangkan) *error steadystate*

2.3.2 Kontrol *Integral* (I)

Pengaruh pada sistem:

- Mengurangi (bukan menghilangkan) *error steadystate*
- Respon lebih lambat jika dibandingkan dengan kontrol proporsional
- Dapat menimbulkan ketidakstabilan (karena menambah orde sistem)

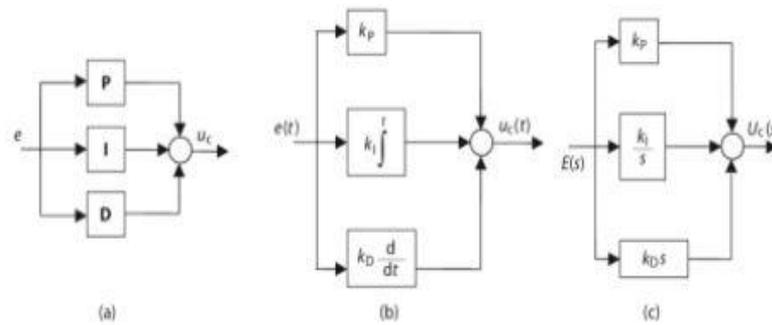
2.3.3 Kontrol *Derivative* (D)

Pengaruh pada sistem:

- Memberikan efek redaman pada osilasi sehingga bisa memperbesar pemberian nilai konstanta proporsional
- Kontrol *derivative* hanya berubah saat perubahan *error* statis menyebabkan kontroler ini tidak dapat bereaksi, sehingga kontroler *derivative* ini tidak dapat digunakan sendiri tanpa kontroler lainnya (kontrol proporsional)

2.3.3 Kombinasi Kontrol *Proporsional, Integral, Derivative*

Apabila kontroler Proporsional (P), Integral (I), dan *Derivative* (D) digabungkan akan mendapatkan hasil pengontrolan dengan sifat menghilangkan *error steadystate*, mempercepat *risetime*, menambah *settlingtime*, dan memperkecil *overshoot*. Secara konseptual, pengontrol PID masih layak digunakan dimana terdapat tiga representasi berbeda yang dapat diberikan. Pada awalnya terdapat representasi simbolik (gambar 2.3(a)). Kedua, dalam domain waktu (gambar 2.3(b)). Ketiga dalam domain transformasi Laplace dari pengontrol PID (gambar 2.3(c)).



Gambar 2. 3 Diagram Blok Kontrol PID

2.3.3 Metode Hand Tuning

Tuning dalam kontroler PID dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain *Ziegler-Nichols tuning*, metode analitis, *loop tuning*, optimasi, *pole placement*, *auto tuning*, dan *hand tuning*. Pada tugas akhir ini kontroler PID yang digunakan pada sistem pengendalian kecepatan kipas fan DC menggunakan metode hand tuning untuk menentukan parameter K_p , K_i , dan K_d .

Penyetelan PID secara hand tuning dilakukan dengan mengatur waktu reset ke nilai maksimum dan laju ke nol dan meningkatkan penguatan hingga loop beresilasi pada amplitudo konstan. (Bila respons terhadap koreksi kesalahan terjadi dengan cepat, penguatan yang lebih besar dapat digunakan. Jika respons lambat, penguatan yang relatif kecil digunakan).

Kemudian atur penguatan pengontrol PID ke setengah dari nilai tersebut dan sesuaikan waktu reset sehingga mengoreksi setiap offset dalam periode yang dapat diterima. Tingkatkan kecepatan loop PID sampai overshoot diminimalkan.

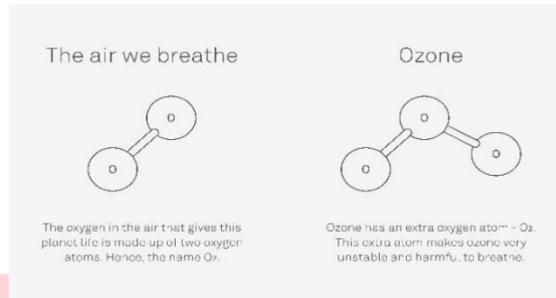
Prosedur untuk melakukan tuning adalah sebagai berikut :

1. Memberikan nilai $K_i=0$ dan $K_d=0$ untuk mendapatkan respon awal sistem.
2. Mengatur nilai K_p sehingga didapatkan respons yang diinginkan, dengan mengabaikan nilai offset.
3. Menaikkan nilai K_p , nilai dari K_d dinaikkan untuk mengurangi nilai overshoot yang terjadi.
4. Naikkan nilai K_i untuk mengurangi nilai offset.

2.4 Sistem Penguraian Gas

Sistem penguraian gas dalam penelitian ini menggunakan alat yang bernama *ozonizer* DIY *ozone* generator pada ruangan pengurai diharapkan dapat menguraikan gas karbon monoksida menjadi oksigen dan ozon secara otomatis.

Cara kerja dari *ozonizer* DIY *ozone* generator adalah menimbulkan lucutan korona. Mesin ini menggunakan pelepasan listrik untuk menghasilkan ozon dengan memecah molekul oksigen normal di udara menjadi atom tunggal. Atom-atom ini kemudian menempel pada molekul O_2 lain di udara membentuk ozon (O_3). Lucutan korona tersebut yang akan dimanfaatkan untuk menguraikan asap rokok, seperti pada gambar 2.4 berikut:

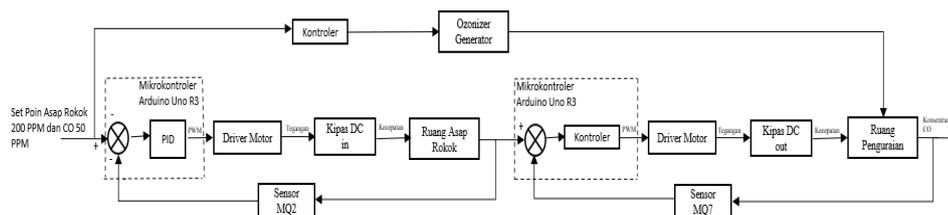


Gambar 2. 4 Pembentukan Ozon pada alat ozonizer DIY ozone generator.

3. Perancangan Sistem

3.1 Desain Sistem

Pada penelitian kali ini, dirancang sebuah sistem yang dapat melakukan penguraian terhadap karbon monoksida yang terdapat di dalam asap rokok. Metode kendali PID digunakan untuk mengendalikan kecepatan kipas in agar bekerja sesuai dengan konsentrasi asap rokok dan metode kendali *switch* untuk mengendalikan kipas out agar bekerja sesuai dengan konsentrasi karbon monoksida.



Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem

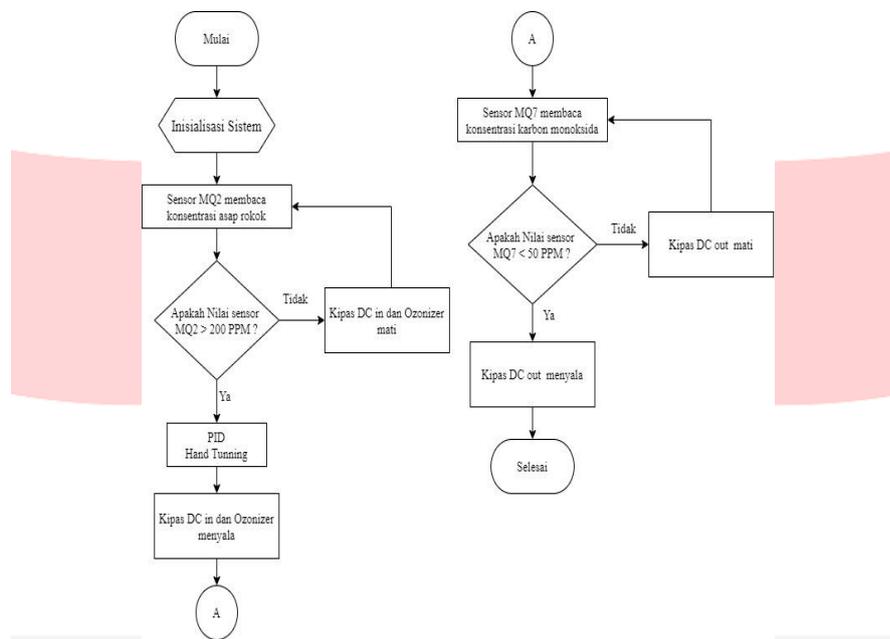
Gambar 3.1 merupakan desain keseluruhan sistem yang dirancang agar bekerja sesuai dengan respon dari konsentrasi asap rokok dan menguraikan asap tersebut menjadi oksigen dan ozon. Kadar asap rokok di dalam miniatur ruangan dikondisikan untuk mencapai *set point* pada kadar asap rokok 200 ppm.

Jika kadar asap rokok > 200 ppm maka sensor MQ2 akan mengirimkan sinyal berupa tegangan analog ke mikrokontroler. Data yang diterima kemudian di proses menggunakan metode PID untuk menghasilkan nilai PWM yang dikirimkan pada driver motor. Maka tegangan keluaran driver motor menjadi penggerak kipas DC in untuk memindahkan asap rokok ke dalam ruang penguraian dan menyalakan ozonizer generator.

3.2 Fungsi dan Fitur

Sistem yang terdapat pada Gambar 3.2 menjelaskan bahwa saat sensor gas MQ2 yang berfungsi mendeteksi asap rokok di dalam ruangan asap rokok. Akan dilakukan perbandingan antara nilai konsentrasi yang di deteksi oleh sensor MQ2 dengan *set point* yang telah ditentukan. Apabila nilai sensor MQ2 lebih besar dari *set point*, maka kipas DC in yang telah dikendalikan dengan metode PID akan aktif tergantung pada nilai konsentrasi asap rokok akan menyala untuk memindahkan asap rokok ke dalam ruang penguraian. Setelah asap rokok dipindah sensor gas MQ7 akan mendeteksi konsentrasi karbon monoksida di dalam asap rokok tersebut. Akan dilakukan perbandingan antara nilai konsentrasi yang di deteksi oleh sensor MQ7 dengan *set point* yang telah ditentukan. Apabila

nilai sensor MQ7 lebih kecil dari *set point*, maka kipas DC *out* yang telah dikendalikan dengan metode *switch* akan mati aktif.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Sistem

4. Pengujian dan Analisa Sistem

4.1 Pengujian Penguraian Asap Rokok Tanpa Ozonizer Generator

Pengujian dilakukan untuk mengetahui berapa lama karbon monoksida yang terkandung dalam asap rokok berkurang di dalam ruangan penguraian dengan kondisi ozonizer generator mati. Sehingga pengurangan konsentrasi karbon monoksida dilakukan dengan memberikan PWM tertinggi pada kipas out untuk mengeluarkan karbon monoksida dari ruang penguraian. Pengujian dilakukan dengan memvariasi konsentrasi asap rokok ke dalam ruang penguraian.

Tabel 1 Pengujian Tanpa Pengurai

Percobaan	PPM Tertinggi	PPM Normal	Waktu
1 Hembusan	248,46	50	68 detik
2 Hembusan	288,31	50	74 detik
3 Hembusan	323,11	50	80 detik

Pada tabel 1 terdapat nilai CO, *Smoke* dan PWM Arduino yang dicuplik 10 data dari 30 data, dimana dapat kita lihat data penurunan serta kenaikan dari nilai CO dan *Smoke* yang dimana kenaikan serta penurunan dari nilai CO dan *Smoke* diikuti oleh nilai PWM yang tentunya berubah – ubah yang mengikuti nilai *Smoke* dan CO.

4.2 Pengujian Penguraian Asap Rokok Dengan Ozonizer Generator

Pengujian dilakukan untuk mengetahui berapa lama alat dapat menguraikan asap rokok. Pengujian dilakukan dengan memvariasi konsentrasi asap rokok ke dalam ruang penguraian.

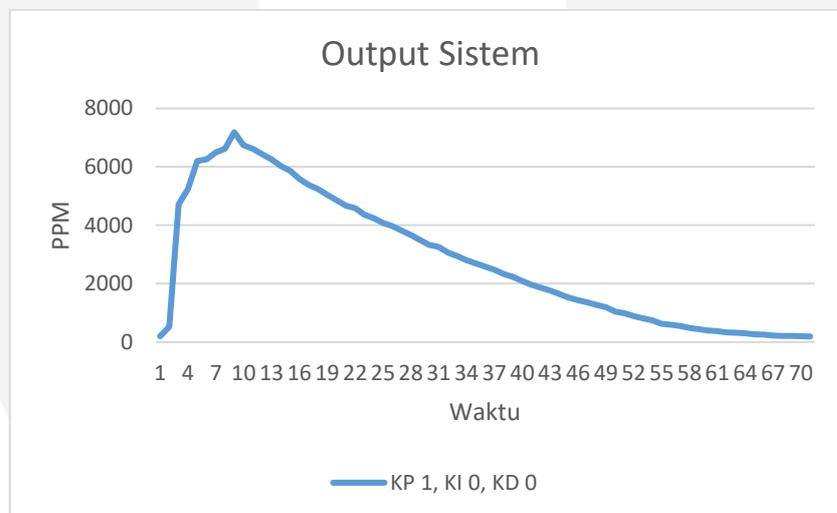
Tabel 2 Penguraian Karbon Monoksida

Percobaan	PPM Tertinggi	PPM Normal	Waktu
1 Hembusan	248,46	50	21 detik
2 Hembusan	288,31	50	23 detik
3 Hembusan	323,11	50	30 detik

Berdasarkan hasil pengujian penguraian asap rokok pada tabel 2 alat dapat menguraikan asap rokok dengan baik sesuai dengan konsentrasi asap rokok yang diuraikan. Semakin tinggi konsentrasi yang ditiupkan maka waktu penguraian juga akan lebih lama agar penguraian tetap efisien.

4.3 Pengujian Sistem Tanpa Kontroler

Pengujian sistem tanpa kontroler dilakukan dengan hanya memberikan nilai $K_p = 1$, $K_i = 0$, $K_d = 0$ pada kontroler PID yang merupakan kondisi tidak adanya kontroler PID. Sehingga perpindahan asap rokok menuju ruang penguraian dilakukan sepenuhnya oleh nilai PWM tertinggi dari mikrokontroler.



Gambar 4. 1 Output Sistem Tanpa Kontroler

Berdasarkan pengujian pada gambar 4.3 diperoleh kehandalan sistem masih buruk, memiliki overshoot 6736.36 PPM dengan waktu menuju kondisi asap normal sebesar (T) 70 detik dan memiliki respon peak time sebesar 9 detik. Dengan demikian akan diberikan kontrol PID agar dapat memperbaiki *output* dari sistem.

4.3 Pengujian Sistem Dengan Kontroler PID

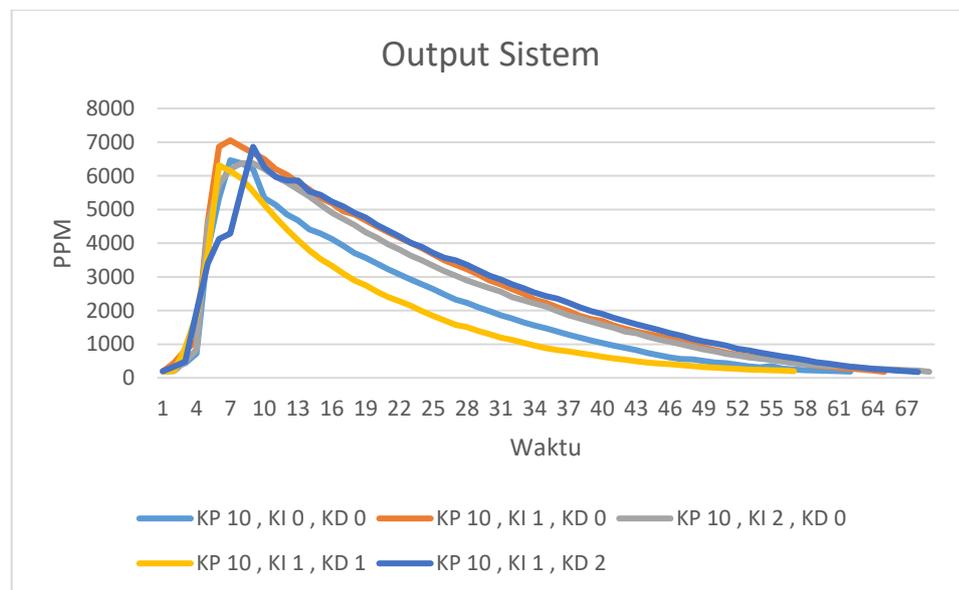
Pengujian dilakukan dengan menggunakan kontroler PID untuk memperbaiki *output* sistem. Dalam menentukan nilai dari parameter kontroler PID menggunakan metode hand tuning, yaitu dengan memberikan nilai K_p , K_i , dan K_d secara acak sampai didapatkan hasil *output* sistem yang

baik. *Output* dari sistem ditinjau dari waktu yang diperlukan agar kondisi dalam ruangan asap rokok kembali ke *set point* setelah diberikannya asap rokok.

Tabel 3 Variasi Nilai K_p , K_i , K_d

NO	K_p	K_i	K_d
1	10	0	0
2	10	1	0
3	10	2	0
4	10	1	1
5	10	1	2

Berdasarkan tabel 3 variasi nilai K_p , K_i , K_d yang akan digunakan untuk memperbaiki *output* sistem sebelumnya yang tidak menggunakan kontoler PID.



Gambar 4. 2 Perbandingan Output Sistem Dengan Variasi Nilai PID

Gambar 4.2 merupakan hasil perbandingan *output* sistem dengan variasi nilai K_p , K_i dan K_d .

Tabel 4 Data Pengujian Output Sistem Dengan Variasi Nilai PID

Variasi PID	Overshoot	Peak Time	T
K_p 10, K_i 0, K_d 0	6463,91	7 detik	62 detik
K_p 10, K_i 1, K_d 0	7054,32	7 detik	65 detik
K_p 10, K_i 2, K_d 0	6372,39	8 detik	69 detik
K_p 10, K_i 1, K_d 1	6313,53	6 detik	57 detik
K_p 10, K_i 1, K_d 2	6861,91	9 detik	68 detik

Ditinjau dari hasil yang diperoleh pada tabel 4 diketahui hasil variasi nilai PID terhadap *output* sistem dapat disimpulkan bahwa variasi nilai PID yang sesuai untuk memperbaiki *output* sistem saat $K_p=10$, $K_i=1$, $K_D=1$. Pada saat menggunakan variasi nilai tersebut sistem memiliki *peak time* yang lebih baik sebesar 6 detik, *overshoot* sebesar 6313,53 dan waktu untuk memindahkan asap ke ruang penguraian selama 57 detik.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

1. Sistem yang dirancang dapat mendeteksi konsentrasi asap rokok dengan menggunakan sensor MQ2 dan mendeteksi konsentrasi karbon monoksida menggunakan sensor MQ7 dengan baik. Kipas DC *in* yang berfungsi memindahkan asap rokok dari ruangan asap rokok ke ruangan penguraian serta ozonizer DIY ozonizer generator akan aktif jika sensor MQ2 mendeteksi konsentrasi asap rokok. Kipas DC *out* yang berfungsi memindahkan hasil penguraian ke luar ruangan pengurai.
2. Penguraian karbon monoksida dalam asap rokok dilakukan dengan melakukan variasi hembusan sebanyak 1 sampai 3 kali hembusan. Karbon monoksida berhasil diuraikan dengan durasi penguraian yang lebih baik dengan menggunakan ozonizer generator.
3. Pengujian *output* sistem menggunakan kontroler PID dapat memperbaiki *output* sistem sebelumnya yang tidak menggunakan kontroler. Nilai PID yang digunakan yaitu $K_p = 10$, $K_i = 1$ dan $K_D = 1$. Dimana *output* sistem yang dihasilkan dengan nilai PID tersebut memiliki *peak time* sebesar 6 detik, *overshoot* sebesar 6313,53 dan waktu untuk memindahkan asap ke ruang penguraian selama 57 detik.

5.2 Saran

1. Pengembangan dalam penelitian ini dapat dilakukan dengan penambahan IOT sebagai media monitoring kinerja sistem.
2. Diharapkan dalam penelitian berikutnya sensor yang digunakan untuk mendeteksi konsentrasi asap rokok dan karbon monoksida dapat dikalibrasi secara otomatis.
3. Dalam pengembangan berikutnya diharapkan peneliti selalu menjaga kesehatan karena akan terpapar asap rokok yang sangat parah.

Referensi

- [1] World Health Organization, Global status report on noncommunicable diseases 2010, Jenewa, Swiss: WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, 2011.
- [2] KEMENKES, “www.depkes.go.id,” Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 31 Mei 2020. [Online]. Available: <https://www.kemkes.go.id/article/view/20053100002/peringatan-htts-2020-cegah-anak-dan-remaja-indonesia-dari-bujukan-rokok-dan-penularan-covid-19.html>. [Diakses 18 Oktober 2020].
- [3] M. M. Rochka, A. A. Anwar dan S. Rahmadani, Kawasan Tanpa Rokok di Fasilitas umum, Jawa Timur: Uwais Inspirasi Indonesia, 2019.
- [4] R. K. Sari, S. T. Zulaikhah dan L. PH, “Perbedaan Pengetahuan Perokok Aktif dan Perokok pasif,” *Jurnal Ilmiah Permas: Jurnal Ilmiah STIKES Kendal*, vol. 9, no. 2, pp. 89-94, 2019.
- [5] A. Trifiana, “SehatQ,” Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 09 Mei 2020. [Online]. Available: <https://www.sehatq.com/artikel/sama-sama-tidak-baik-tapi-rokok-kretek-lebih-berisiko-sebabkan-kanker>. [Diakses 20 Oktober 2020].
- [6] Nururrahmah, “Pengaruh Rokok Terhadap Kesehatan Manusia,” *Prosiding Seminar Nasional*, vol. 01, no. 1, p. 78, 2015.
- [7] D. . V. Wibowo, D. H. C. Pangemanan dan H. Polii, “Hubungan Merokok dengan Kadar Hemoglobin dan,” *Jurnal e-Biomedik (eBm)*, vol. 5, p. 2, 2017.
- [8] N. Allu dan A. Toding, Sistem Kendali (Teori dan Contoh Soal Dilengkapi dengan Penyelesaian Menggunakan Matlab), Yogyakarta: Deepublish, 2018.
- [9] N. RUDINO, PERANCANGAN SELF-BALANCING TROLLEY DENGAN METODE PID, Bandung: Universitas Telkom, 2018.