

PENGENDALIAN KADAR PH AIR BERBASIS PID PADA PROTOTYPE WATER TREATMENT PLANT

WATER PH LEVEL CONTROL BASED ON PID CONTROL WATER TREATMENT PLANT PROTOTYPE

Ivan Adhitya Putra Suwandi¹, Sony Sumaryo², Sigit Yuwono³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹ivanadhityaps@student.telkomuniversity.ac.id, ²sonysumaryo@telkomuniveristy.co.id,
³yuwono@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Air adalah sumber daya alam yang menjadi kebutuhan pokok setiap makhluk hidup termasuk manusia. Air yang diperoleh berupa air tanah, air sungai, air hujan, dan air sumber (mata air) dapat digunakan sebagai sumber air bersih melalui tahap-tahap pengolahan. *Water Treatment Plant* adalah sistem instalasi yang menjalankan sejumlah proses pengolahan air dari air baku menjadi air bersih agar dapat digunakan manusia. Tahap pengendalian kadar pH adalah salah satu tahap pada *Water Treatment Plant*. Pada penelitian tugas akhir ini dirancang suatu sistem pengendalian kadar pH pada air dengan menggunakan pengendali PID (Proporsional, Integral, Derivatif). Nilai pH air berada pada nilai 7pH atau pada *setpoint* yang dimasukkan Dengan digunakannya kendali PID pada pengendalian kadar pH air ditujukan untuk otomatisasi proses yang terjadi. Sistem yang dirancang dari penelitian ini mampu membaca pH air dengan akurasi sebesar 98,68%. Sistem ini menggunakan kendali PID dengan parameter $K_p=35,0$; $K_i=0,1$; $K_d=60,0$ untuk kondisi saat selisih nilai pH dengan *setpoint* sebesar $\pm 1,00\text{pH}$, dan parameter $K_p=37,0$; $K_i=0,005$; $K_d=0,005$ untuk kondisi saat selisih nilai pH dengan *setpoint* sebesar $\pm 0,50\text{pH}$, dapat mengendalikan kadar pH pada *setpoint* yang ditentukan dengan cukup cepat, dan memiliki rentang kesalahan sebesar $\pm 0,25\text{pH}$.

Kata kunci : pH, Water Treatment Plant, kendali PID

Abstract

Water is a natural resource and the basic need of every living thing. The water obtained from groundwater, river water, rainwater, and springwater can be used as a source of clean water through the processing stages. Water Treatment Plant is an installation system that carries out a number of treatments from raw water to clean water. The pH level control stage is one of the stages in the Water Treatment Plant. In this final project research designed a pH control system in water using a PID controller. The pH value of water is at a value of 7pH or at the setpoint that is entered. The use of PID control is intended to automate the process. The system designed in this study is able to read the pH of the water with an accuracy of 98.68%. This system uses PID control with parameter $K_p = 35.0$; $K_i = 0.1$; $K_d = 60.0$ for conditions when difference between pH value and setpoint is $\pm 1.00\text{pH}$, and parameter $K_p = 37.0$; $K_i = 0.005$; $K_d = 0.005$ for conditions when the difference between the pH value and setpoint is $\pm 0.50\text{pH}$, it can control pH level to setpoint quite quickly, and has an error range of $\pm 0.25\text{pH}$.

Keywords: pH, Water Treatment Plant, PID controller

1. Pendahuluan

Bumi adalah tempat tinggal bagi makhluk hidup di mana kurang lebih dari 71% permukaan Bumi ditutupi oleh air, dan sisanya adalah pulau-pulau dan benua yang memiliki danau, sungai, dan sumber air lainnya [1]. Air merupakan sumber daya alam yang menjadi kebutuhan pokok setiap makhluk hidup termasuk manusia, karena kehidupan dapat berlangsung dengan baik dengan adanya air.

Bertumbuhnya jumlah penduduk di Indonesia memberikan dampak terhadap meningkatnya kegiatan yang memerlukan penggunaan air. Kebutuhan akan kuantitas dan kualitas air pun meningkat pula. Akan tetapi mengutip dari [2], sebanyak 33,4 juta penduduk Indonesia mengalami kekurangan air bersih. Air yang diperoleh berupa air tanah, air sungai, air hujan, dan air sumber (mata air) dapat digunakan sebagai sumber air bersih. Menurut [3], jika air dari berbagai sumber tidak dimanfaatkan dengan baik maka akan sia-sia, dan hanya 80 persen air yang ada di bumi berasal dari hujan, yang berarti bahwa air tanah jumlahnya hanya terbatas.

Sebelum dimanfaatkan untuk tujuan-tujuan tertentu, air harus diolah terlebih dahulu. Pengolahan ini dapat berupa proses untuk menurunkan parameter kekeruhan, penstabilan nilai pH, dan pengaturan kadar oksigen terlarut. *Water Treatment Plant* atau Instalasi Pengolahan Air dapat melakukan pengolahan-pengolahan tersebut. Proses pengolahan yang ada pada *Water Treatment Plant* di antaranya adalah koagulasi, sedimentasi, dan filtrasi. Proses pengolahan air menggunakan koagulasi, sedimentasi, dan filtrasi telah diamati dapat mencapai 90% pemusnahan sel bakteri [4].

Dalam kendali PID dapat memberi pilihan untuk memurnikan air, memeriksa kontaminasi, dan mengontrol berbagai parameter lain yang diperlukan untuk air yang aman [5]. Menurut [6], kadar pH air standar baku mutu air untuk keperluan sanitasi berada pada rentang 6,5 hingga 8,5. Dengan menggunakan kendali PID diharapkan agar dapat mengendalikan kadar pH dalam air secara otomatis.

Berdasarkan hal tersebut, pada tugas akhir ini akan dirancang sebuah sistem kendali yang berfungsi untuk mengolah air baku yang kotor menjadi air jernih dengan menggunakan metode kendali PID. Dengan menggunakan metode kendali PID ditujukan untuk otomatisasi proses yang terjadi.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Water Treatment Plant

Water Treatment Plant (WTP) adalah sistem instalasi yang menjalankan sejumlah proses pengolahan air dari air baku (inlet) menjadi air bersih agar dapat diterima manusia untuk penggunaan tertentu. Dalam proses pada *Water Treatment Plant*, pengendalian kadar pH merupakan aspek yang cukup penting untuk proses koagulasi. pH optimal untuk proses koagulasi bervariasi tetapi umumnya dalam kisaran 6 pH sampai 8 pH (umumnya 7 pH) untuk koagulan Alum. Penggunaan akhir dari *Water Treatment Plant* dapat berupa keperluan sanitasi, pasokan air industri, irigasi, pemeliharaan aliran sungai, rekreasi air, air minum atau banyak kegunaan lainnya, termasuk dikembalikan ke lingkungan dengan aman. Tujuan pengolahan air menghilangkan kontaminan dan komponen yang tidak diinginkan, atau mengurangi konsentrasinya sehingga air menjadi layak untuk digunakan manusia.

2.2 pH

pH adalah skala yang digunakan untuk menentukan seberapa asam atau basa dari larutan berbasis air dalam rentang 0 sampai 14. pH dari sebuah larutan didefinisikan sebagai logaritma negatif dari konsentrasi ion hidrogen (dalam mol/L). Larutan asam memiliki pH lebih rendah dari 7 (mengandung konsentrasi ion hidrogen yang lebih tinggi), sedangkan larutan basa memiliki pH lebih tinggi dari 7 (mengandung konsentrasi ion hidrogen yang lebih rendah). Kuantitas pH didefinisikan dalam hal aktivitas ion hidrogen (H⁺) dalam larutan:

$$pH = -\log[a_{H^+}] \quad (1)$$

(1)

Dalam larutan basa, digunakan skala pOH yang serupa dengan skala pH dapat dibuat menggunakan logaritma negatif konsentrasi ion hidroksida suatu larutan. pOH dapat didefinisikan sebagai berikut

$$pOH = -\log[a_{OH^-}] \quad (2)$$

$$pH = 14.00 - pOH \quad (3)$$

2.3 Kendali PID

Kendali PID terdiri dari tiga jenis komponen yang saling dikombinasikan, yaitu P (Proporsional), I (Integral), dan D (Derivatif). Masing-masing memiliki parameter tertentu yang harus diset untuk dapat beroperasi dengan baik, yang disebut sebagai konstanta.

Komponen kendali proporsional menghasilkan *output* yang sebanding dengan kesalahan kendali saat ini. Pengendali proporsional memiliki kelebihan yaitu memperbaiki respon transien (*rise time* dan *settling time*). Kelemahannya adalah dapat meningkatkan overshoot dan menghasilkan *error steady-state* (e_{ss}). Komponen kendali integral terkait dengan nilai-nilai sebelumnya dari kesalahan kendali. Penggunaan komponen proporsional bersamaan dengan komponen integral, dapat mengurangi respon osilasi, dan mengeliminasi *error steady-state*. Namun dapat menyebabkan terjadinya *overshoot* karena integral merespon terhadap akumulasi *error* sebelumnya. Kendali derivatif didasarkan pada nilai prediksi dari kesalahan kendali. Komponen derivatif memiliki kelebihan yaitu dapat memperbaiki *settling time* dan stabilitas sistem, dan mengurangi *overshoot* pada sistem yang berosilasi. Kekurangannya adalah tidak bisa menghasilkan keluaran jika tidak ada sinyal *error*.

Rumus umum kendali PID dapat dijelaskan oleh :

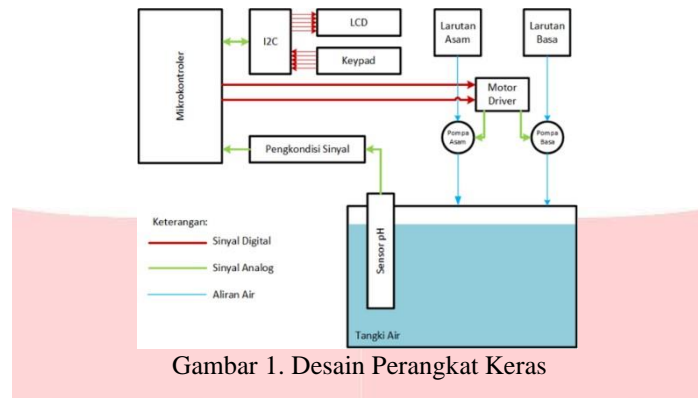
$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (4)$$

di mana K_p adalah penguat Proporsional, K_i adalah penguat Integral, K_d adalah penguat Derivatif, u adalah variabel kendali, dan e adalah kesalahan kendali (*error*). Kendali PID digunakan di sebagian besar proses industri karena pengendali memiliki stabilitas dan keandalan yang lebih baik [10].

3. Perancangan Sistem

3.1 Desain Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras terdiri dari mikrokontroler sebagai pengendali, tangki atau wadah penampung air, sensor pH beserta rangkaian pengkondisi sinyal, LCD sebagai penampil nilai pH, dan pompa *dosing* sebagai penggerak larutan asam dan basa. Desain blok perancangan perangkat keras pengaturan pH air pada tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 1.



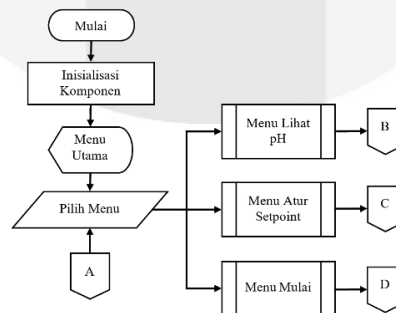
Air baku ditampung pada tangki air dan pengukuran kadar pH air dilakukan. Sensor pH dicelupkan ke dalam tangki pengolahan air baku yang akan melakukan proses pengukuran kadar pH. Pengukuran kadar pH oleh probe pH akan dilakukan amplifikasi oleh papan pengkondisi sinyal yang terdiri dari rangkaian Op-Amp. Hal ini dikarenakan hasil pembacaan nilai pH oleh *probe* pH hanya menghasilkan besar sinyal dalam milivolt (mV) dimulai dari -414mV untuk nilai 14pH sampai dengan $+414\text{mV}$ untuk 0pH, akan diubah oleh papan pengkondisi sinyal menjadi nilai yang bisa diterima oleh mikrokontroler yaitu dari 0V untuk 14pH sampai dengan 5V untuk 0pH. Tegangan dari papan pengkondisi sinyal diterima oleh mikrokontroler untuk dilakukan perubahan nilai tegangan menjadi nilai pH.

Motor driver digunakan untuk menerima sinyal PWM hasil perhitungan dari mikrokontroler untuk diubah menjadi tegangan DC yang akan diberikan ke masing-masing pompa *dosing*. Jika nilai pH berada di bawah 7pH (bersifat asam), pompa *dosing* larutan basa akan bergerak dan meneteskan larutan basa ke dalam tangki, dan jika nilai pH berada di atas 7pH (bersifat basa), pompa *dosing* larutan asam akan bergerak dan meneteskan larutan asam ke dalam tangki. Hasil pembacaan nilai pH, besarnya *error*, dan nilai perhitungan PID diproses oleh mikrokontroler lalu ditampilkan pada LCD. Penggunaan komponen I2C digunakan untuk meringkas penggunaan pin digital pada LCD dan *Keypad*.

3.2 Desain Perangkat Lunak

Desain perangkat lunak pada alat tugas akhir ini memiliki empat bagian yaitu pilih menu utama, lihat pH air, atur *setpoint* pH, dan mulai. Tampilan utama adalah bagian pilih menu di mana pengguna dapat memilih proses apa yang akan dilakukan, dan diakhiri di menu mulai.

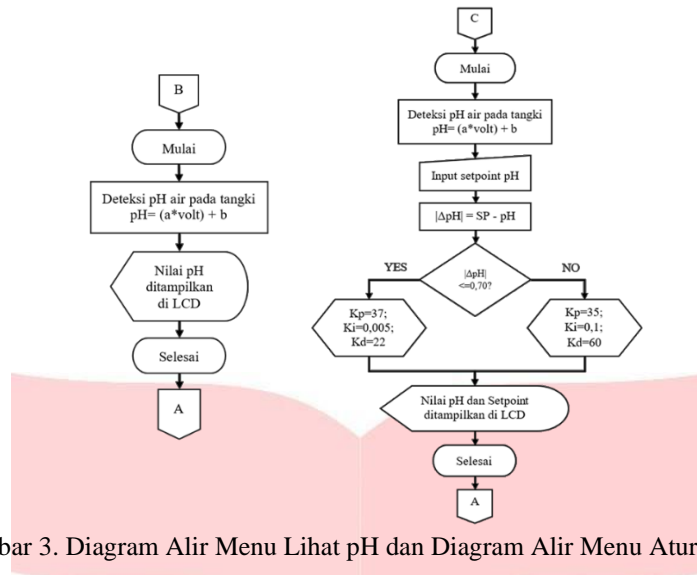
3.2.1 Diagram Alir Menu Utama dan Menu Lihat pH Air



Gambar 2. Diagram Alir Sistem Menu Utama

Pada gambar di atas dapat dilihat sistem melakukan inisialisasi komponen, lalu menampilkan menu utama yang dapat dipilih oleh pengguna. Secara urutan menu yang ditampilkan adalah menu Lihat pH air, menu atur *setpoint*, dan terakhir menu mulai yang dapat dipilih menggunakan *keypad*. Setiap menu selesai dilakukan, akan kembali lagi ke menu utama.

3.2.2 Diagram Alir Menu Lihat pH Air dan Menu Atur Setpoint

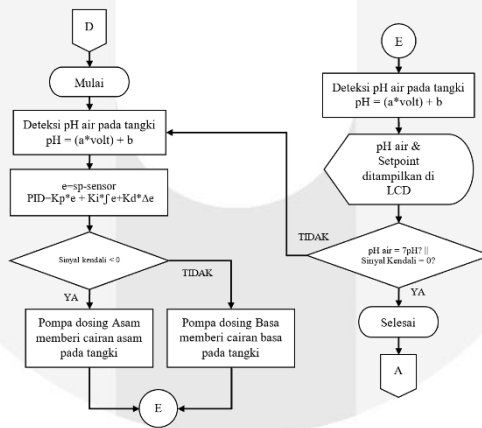


Gambar 3. Diagram Alir Menu Lihat pH dan Diagram Alir Menu Atur Setpoint pH

Pada diagram alir bagian kiri yaitu menu lihat pH, dilakukan proses pengambilan data oleh sensor pH yang keluarannya berupa besaran tegangan, setelah itu dilakukan perhitungan pengubahan nilai tegangan menjadi nilai pH, dan akhirnya nilai pH ditampilkan pada LCD. Nilai pH didapat dengan rumus $pH=(a*volt)+b$, dimana a adalah *slope* dan b adalah *intercept*. Setelah proses selesai, akan kembali lagi ke pilih menu utama.

Pada diagram alir bagian kanan yaitu menu atur *setpoint* pH, dilakukan proses pengambilan data oleh sensor pH yang bertujuan untuk mendapatkan nilai pH air. Saat *setpoint* dimasukkan melalui *keypad*, mikrokontroler menghitung selisih antara *setpoint* dengan nilai pH air yang hasilnya di absoltukan untuk menentukan parameter PID yang akan digunakan. Setelah selesai, nilai pH dan *setpoint* ditampilkan pada LCD dan akan kembali lagi ke pilih menu utama.

3.2.3 Diagram Alir Menu Mulai



Gambar 4. Diagram Alir Menu Mulai

Dapat dilihat dari gambar di atas, menjelaskan tentang proses sistem pengendalian kadar pH yang dirancang. Sistem ini menggunakan algoritma kendali PID untuk mengendalikan pompa *dosing* dalam pemberian larutan asam dan larutan basa setelah menerima hasil pembacaan nilai pH oleh sensor pH.

Pertama, sistem mendeteksi nilai pH air pada tangki. Kemudian sistem melakukan proses kalkulasi *error* dan perhitungan PID. *Error* yang dikalkulasi ada tiga macam yaitu nilai *error*, *error* integral, dan *error* derivatif. Nilai *error* adalah selisih antara *setpoint* dengan nilai pH dari sensor, *error* integral adalah penjumlahan dari nilai *error*, dan *error* derivatif adalah selisih antara nilai *error* sekarang dengan nilai *error* sebelumnya. Setelah mengalkulasi masing-masing *error*, proses PID dilakukan yaitu menghitung parameter P, I, dan D, dan menjumlahkan ketiga parameter tersebut. Parameter P didapat dari hasil kali Kp dengan nilai *error*, parameter I adalah hasil kali Ki dengan *error* integral yang dikalikan lagi dengan waktu sampling, parameter D diperoleh dari hasil kali Kd dengan *error* derivatif yang dibagi dengan waktu

sampling. Waktu sampling yang digunakan pada sistem sebesar 0,2 detik. Ketiga parameter tersebut dijumlahkan, dan hasilnya digunakan untuk mengendalikan pompa *dosing*. Jika sinyal kendali PID bernilai kurang dari 0 sampai -255, pompa asam akan memompa larutan asam ke dalam tangki. Sebaliknya, jika PID bernilai lebih dari 0 sampai 255, pompa basa akan memompa larutan basa ke dalam tangki. LCD akan menampilkan nilai pH air, *setpoint*, dan *error* saat proses *dosing* dilakukan. Proses PID akan terus berlanjut sampai nilai pH air sama dengan *setpoint*, atau saat PID sama dengan nol, dan jika telah selesai akan kembali ke menu utama.

4. Hasil dan Analisis

4.1 Sensor pH

Sensor pH yang digunakan adalah sensor pH probe kombinasi E201-C dengan *board* pengkondisi sinyal pH jenis PH-4502C. Sebelum melakukan pengujian sensor, sensor perlu dikalibrasi terlebih dahulu.

4.1.1 Kalibrasi Sensor pH

Kalibrasi dilakukan dengan metode *three point calibration*, yaitu mengambil nilai tegangan sensor pH saat *probe* pH dicelupkan pada cairan pH buffer acuan, yaitu 6,86pH, 4,00pH, dan 9,18pH. Langkah kalibrasi sensor dilakukan dengan menyediakan ketiga cairan pH *buffer* pada tiga buah gelas kaca yang berbeda, lalu mencelupkan *probe* pH ke dalam tiap-tiap cairan. Nilai tegangan tiap cairan pH *buffer* dihitung dengan regresi linier untuk mendapatkan nilai a (*slope*/ koefisien kemiringan) dan nilai b (*intercept*) yang akan digunakan untuk perhitungan pH di dalam mikrokontroler.

Tabel 1. Hasil Regresi Linier Kalibrasi Sensor

x_i (Volt)	y_i (pH)	x_i^2	y_i^2	$x_i y_i$
3,015	4,00	9,090225	16,00	12,06
2,545	6,86	6,477025	47,0596	17,4587
2,115	9,18	4,473225	84,2724	19,4157
$\Sigma X_i = 7,675$	$\Sigma Y_i = 20,040$	$\Sigma X_i^2 = 20,040475$	$\Sigma Y_i^2 = 147,332$	$\Sigma X_i Y_i = 48,934$

Dari tabel regresi linier dicari variabel *slope* dan *intercept*, didapatkan nilai a (*slope*) sebesar -5,7606514 dan nilai b (*intercept*) sebesar 21,4176665. Penggunaan regresi linier dikarenakan hasil pembacaan sensor pH yang bersifat mendekati linier, maka dengan melakukan *three point calibration* dapat menentukan garis linier dan kemiringan garis, sehingga dapat dibuat persamaan untuk mengubah tegangan dari sensor pH menjadi variabel pH. Rumus umumnya adalah

$$y = ax + b \tag{5}$$

di mana y adalah nilai pH, x adalah tegangan yang dihasilkan sensor (volt), a adalah *slope* (koefisien kemiringan), dan b adalah *intercept* (penggal garis pada kedudukan sumbu vertikal).

4.1.2 Pengujian Sensor pH

Pengujian sensor pH dilakukan setelah melakukan kalibrasi sensor. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai pembacaan sensor dengan tiga nilai cairan *buffer* pH yang telah digunakan sebelumnya. Pengambilan data dilakukan untuk mendapatkan nilai rata-rata *error* dan rata-rata akurasi sensor. Nilai persentase *error* dan nilai akurasi didapatkan dari persamaan berikut

$$E(\%) = \frac{| \text{Nilai Rata-Rata Pembacaan Sensor} - \text{Nilai Rata-Rata Cairan Buffer} |}{\text{Nilai Rata-Rata Cairan Buffer}} \times 100\% \tag{6}$$

$$A(\%) = 100\% - E(\%)$$

(7)

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor pH

Nilai Cairan pH Buffer (pH)	Nilai Rata-Rata Pembacaan Sensor (pH)	Nilai Rata-rata Error (%)
4,00	3,92	2,06
6,86	6,74	1,79
9,18	9,17	0,12
Jumlah Rata-Rata Error		1,32

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel di atas, terdapat rata-rata *error* yang cukup besar untuk nilai pH 4,00 dan pH 6,68, sedangkan untuk pH 9,18 terdapat *error* yang cukup kecil. Nilai jumlah rata-rata *error* sensor bernilai 1,32%, sedangkan nilai rata-rata akurasi sensor sebesar 98,68%.

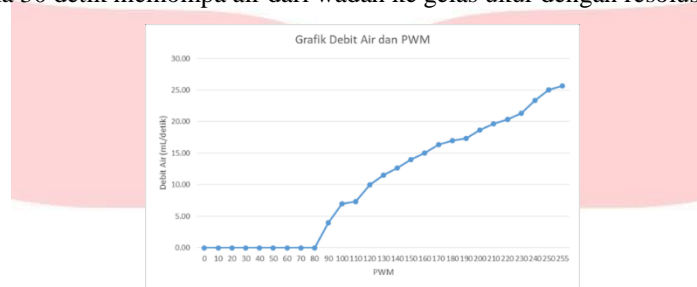
4.2 Pengujian Pompa Dosing

Pada alat ini, pompa *dosing* yang digunakan adalah pompa air bercatuan DC (*direct current*). Kecepatan putar pompa dapat dikendalikan dari mikrokontroler melalui komponen motor driver untuk memberikan tegangan DC yang diatur dengan PWM (*Pulse Width Modulation*) yang diberikan. Pengujian pompa *dosing* dilakukan dengan memberikan nilai PWM yang ditentukan dengan tujuan untuk mengetahui pompa mulai bergerak pada nilai PWM berapa, dan untuk mengetahui debit air yang dikeluarkan oleh pompa. Debit air dapat diketahui oleh persamaan berikut ini

$$Q = V / \Delta t \quad (8)$$

di mana Q adalah debit air pompa (mL/detik), V adalah volume air yang dikeluarkan saat pompa beroperasi (mL), dan Δt adalah waktu pompa beroperasi (detik).

Langkah pengujian dilakukan dengan memberikan nilai PWM dalam rentang 0-255, rentang tersebut didapat dari resolusi DAC (*digital to analog converter*) yang dimiliki oleh mikrokontroler yang digunakan yaitu 8-bit. PWM yang diberikan mulai dari 0, dan berkelipatan 10 tiap percobaan. Pompa *dosing* dioperasikan selama 30 detik memompa air dari wadah ke gelas ukur dengan resolusi sebesar 10 mL.



Gambar 5. Grafik Debit Air Terhadap Nilai PWM

Pada grafik di atas, pompa dosing mulai berputar saat diberikan PWM sebesar 80. Debit air naik cukup lambat antara PWM 90-100, dan debit air mulai meningkat berbanding lurus dengan PWM antara PWM 110-255. Secara rinci, pompa mulai berputar antara PWM 85-86 walau hanya meneteskan sedikit air, ini digunakan untuk pembatasan PWM pompa pada proses PID.

4.3 Pengujian Respon Sistem PID

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui parameter PID yaitu Kp Ki Kd yang sesuai untuk sistem keseluruhan. Karakteristik sensor pH yang digunakan memiliki waktu respon yang kurang responsif saat ada perubahan pH, sehingga membutuhkan karakteristik PID yang tidak terlalu responsif dan agresif. Semula pencarian parameter PID dilakukan dengan metode Ziegler-Nichols, tetapi tidak ada hasil yang memuaskan karena hasil PID yang mengalami *overshoot* dikarenakan nilai Ki yang terlalu besar, dan juga osilasi dikarenakan nilai Kd yang terlalu kecil. Maka penentuan parameter PID dilakukan dengan cara *trial and error* hingga mendekati respon yang sesuai.

Untuk dapat mengetahui sistem memiliki respon PID yang sesuai, *setpoint* dimasukkan melalui *keypad*, proses kalkulasi PID dilakukan oleh mikrokontroler, hasil perhitungan PID digunakan untuk menggerakkan pompa *dosing*, dan nilai *feedback* didapat dari sensor pH. Motor DC 5 volt dibutuhkan sebagai pengaduk antara air baku dengan larutan kimia. Diperlukan larutan asam dan larutan basa sebagai material yang dikeluarkan oleh pompa *dosing*. Masing-masing larutan kimia dibuat dengan melarutkan 1 liter air bersih dengan 5 gram serbuk kimia. Serbuk kimia yang digunakan adalah asam sitrat sebagai zat asam memiliki molaritas sebesar $\pm 0.026M$, dan natrium karbonat atau biasa disebut *soda ash* sebagai zat basa memiliki molaritas sebesar $\pm 0.047M$.

4.3.1 Pengujian Respon Sistem dengan Parameter P

Pengujian dilakukan dengan menentukan parameter Proporsional yaitu nilai Kp pada sistem dan *setpoint*. Pada sistem ini, dilakukan percobaan dengan dua kondisi yaitu selisih nilai pH dengan *setpoint* sebesar $\pm 0,50pH$ dan $\pm 1,00pH$. Hal ini dilakukan karena saat selisih nilai pH dengan *setpoint* sebesar $\pm 1,00pH$ memerlukan respon redaman yang cukup besar dibandingkan saat selisih nilai pH dengan *setpoint* sebesar $\pm 0,50pH$.

Proses pertama dilakukan bertahap dengan kondisi selisih $\pm 1,00pH$ dengan menggunakan Kp=30, Kp=35, dan Kp=40. Proses ini dilakukan untuk mencari nilai Kp yang sesuai untuk selisih nilai pH dengan *setpoint* sebesar $\pm 1,00pH$. Proses kedua dilakukan bertahap dengan kondisi selisih $\pm 0,50pH$ dengan menggunakan Kp=30, Kp=35, dan Kp=40. Proses ini dilakukan untuk mencari nilai Kp yang sesuai untuk selisih nilai pH dengan *setpoint* sebesar $\pm 0,50pH$.

Tabel 3. Pengujian Parameter Kp dan Respon yang Dihasilkan

No	Kp	Δ pH	Rise Time	Osilasi
1	30	$\pm 0,50$	16 detik	Kecil
2	35		12 detik	Kecil
3	40		7 detik	Cukup besar
4	30	$\pm 1,00$	17 detik	Kecil
5	35		14 detik	Kecil
6	40		7 detik	Cukup besar

Pada tabel di atas dapat disimpulkan karakteristik komponen P yang dapat mempercepat *rise time* berbanding lurus dengan nilai Kp yang diberikan. Nilai Kp yang digunakan untuk sistem ini adalah Kp=35 karena memiliki *rise time* yang cukup baik tanpa adanya osilasi, yang nantinya akan di-*tuning* kembali untuk dua kondisi selisih *setpoint* dengan nilai pH air baku.

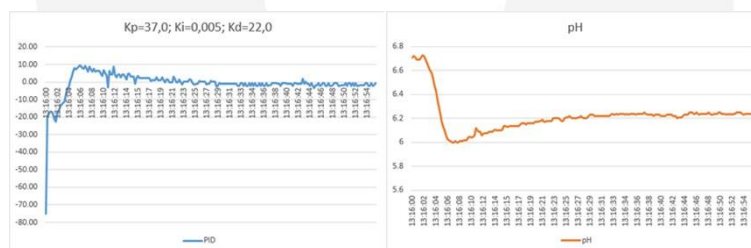
4.3.2 Pengujian Respon Sistem dengan Ketiga Parameter PID

Pengujian dilakukan dengan menggunakan nilai Kp yang telah didapat untuk menentukan parameter integral (Ki) dan parameter derivatif (Kd). Sistem yang ingin dicapai adalah sistem yang memiliki *rise time* yang cepat, memiliki e_{ss} (*error steady state*) yang kecil, namun tidak terlalu agresif, hal tersebut disebabkan oleh respon sensor yang tidak terlalu responsif dalam membaca perubahan pH. Dilakukan percobaan dengan dua kondisi yaitu selisih nilai pH dengan *setpoint* sebesar ± 0.50 pH dan ± 1 pH. Pencarian Ki dan Kd dilakukan dengan melihat respon sistem saat diberi nilai Ki dan Kd tertentu, lalu disimpulkan kebutuhan sistem apakah memerlukan perbaikan e_{ss} dan pengurangan osilasi, atau memerlukan redaman agar tidak terjadi *overshoot*.

Percobaan pertama dilakukan dengan kondisi selisih *setpoint* dengan nilai pH air sebesar ± 0.50 pH. Pada percobaan ini telah dilakukan beberapa percobaan sebelumnya hingga mendapatkan nilai Kp antara 37,0-37,25 yang pada awalnya nilai Kp=35,0. Hasil dari percobaan-percobaan yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini

Tabel 4. Hasil Pencarian Ki dan Kd untuk kondisi selisih nilai pH dengan setpoint sebesar $\pm 0,50$ pH

Percobaan Ke-	Kp	Ki	Kd	Rise Time	Settling Time	Osilasi
1	37,25	0,0	21,74	4 detik	Tidak tercapai	Besar
2		0,005		4 detik	Tidak tercapai	Cukup kecil
3		0,006		5 detik	26 detik	Sangat kecil
4	37,0	0,005	22,0	4 detik	23 detik	Sangat kecil



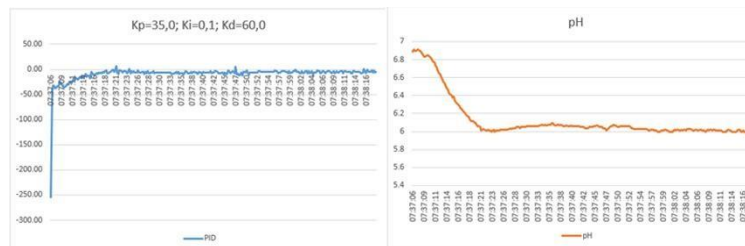
Gambar 6. Grafik PID dan Perubahan pH dengan Kp=37,0; Ki=0,005; dan Kd=22,0, pada selisih 0,50pH

Pada tabel percobaan di atas dapat disimpulkan bahwa parameter PID yang digunakan untuk kondisi saat selisih nilai pH dengan *setpoint* sebesar $\pm 0,50$ pH adalah Kp=37,0; Ki=0,005; dan Kd=22,0.

Percobaan kedua dilakukan dengan kondisi selisih *setpoint* dengan nilai pH air sebesar $\pm 1,00$ pH. Percobaan ini menggunakan nilai Kp=35,00, nilai Ki dan Kd dicari dengan cara *trial and error* hingga mendapatkan respon sistem yang sesuai. Hasil dari percobaan-percobaan yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini

Tabel 5. Hasil Pencarian Ki dan Kd untuk kondisi selisih nilai pH dengan setpoint sebesar $\pm 1,00$ pH

Percobaan Ke-	Kp	Ki	Kd	Rise Time	Settling Time	Osilasi
1	35,0	0,0	75,0	6 detik	50 detik	Besar
2		0,1	50,0	4 detik	32 detik	Besar
3		0,0	60,0	11 detik	28 detik	Sedikit
4		1,0	60,0	14 detik	30 detik	Cukup kecil
5		0,1	60,0	10 detik	22 detik	Sangat kecil



Gambar 7. Grafik PID dan Perubahan pH dengan $K_p=35,0$; $K_i=0,1$; dan $K_d=60,0$; pada selisih 1,00pH.

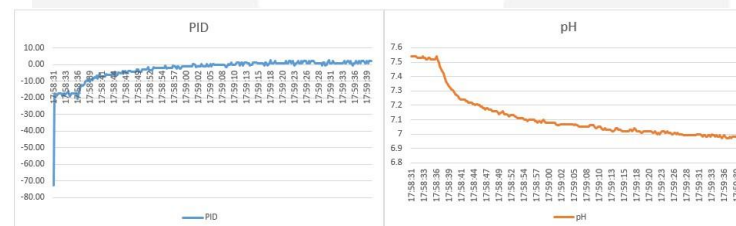
Pada tabel dan grafik percobaan di atas dapat disimpulkan bahwa parameter PID yang digunakan untuk kondisi saat selisih nilai pH dengan *setpoint* sebesar $\pm 1,00$ pH adalah $K_p=35,0$; $K_i=0,1$; dan $K_d=60,0$.

4.4 Pengujian Respon Sistem PID

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sistem dapat berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan pH air agar pH air berada pada nilai 7pH. Pengujian dilakukan dengan menggunakan air hujan yang diketahui pada percobaan ini bersifat asam, dan air tanah yang dikondisikan menjadi basa dengan penambahan larutan basa. Hal tersebut dilakukan agar dapat melihat fungsi menaikkan dan menurunkan pH pada sistem dapat bekerja. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 9. Grafik PID dan pH saat Sistem Menaikkan pH ke 7pH



Gambar 8. Grafik PID dan pH saat Sistem Menurunkan pH ke 7pH

Pada Gambar 8, sistem dapat menaikkan pH dari 6.03pH menjadi 7.09pH, dan pada Gambar 9 sistem dapat menaikkan pH dari 7.54pH menjadi 6.97pH. Terdapat *error* sebesar 0.09pH saat menaikkan pH, dan *error* sebesar 0.03pH saat menurunkan pH.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dari sistem yang dilakukan, dapat dibuat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian sensor pH pada sistem diperoleh rata-rata error pembacaan sebesar 1,32%. Sedangkan akurasi sensor yang diperoleh sebesar 98,68%.
2. Pompa dapat mulai bergerak saat diberikan nilai PWM 85-255, dengan debit air berbanding lurus dengan nilai PWM dari rentang 110-255. Sedangkan debit air saat diberikan PWM 90-100 hanya meningkat sedikit.
3. Pengujian sistem dengan parameter PID $K_p=35,0$; $K_i=0,1$; $K_d=60,0$ untuk kondisi saat selisih nilai pH dengan *setpoint* sebesar $\pm 1,00$ pH menghasilkan respons sistem yang cukup baik dengan rise time 10 detik, settling time 22 detik, dengan osilasi yang sangat kecil.
4. Pengujian sistem dengan parameter PID $K_p=37,0$; $K_i=0,005$; $K_d=0,005$ untuk kondisi saat selisih nilai pH dengan *setpoint* sebesar $\pm 0,50$ pH menghasilkan respon sistem cukup baik dengan rise time 4 detik, settling time 23 detik, dengan osilasi yang sangat kecil.
5. Sistem dapat beroperasi dengan baik, dengan hasil pengolahan air berada di $\pm 0,25$ dari nilai *setpoint*.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian dan pengembangan sistem yang telah terealisasi dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Sebaiknya sensor pH yang digunakan memiliki kestabilan pembacaan dan akurasi yang baik, karena sangat berpengaruh untuk proses selanjutnya.
2. Sebaiknya menggunakan kontroler yang dapat melakukan multitasking, baik dalam perangkat lunaknya dan perangkat kerasnya.
3. Sebaiknya pompa dosing yang digunakan memiliki papan pengontrol yang terintegrasi agar proses dosing dapat dilakukan lebih akurat dan konsisten.

Referensi:

- [1] "How Much Water is There on Earth?," U.S. Geological Survey's, [Online]. Available: <https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/how-much-water-there-earth>. [Diakses 22 September 2018].
- [2] V. Rossa dan F. Nodia, "Ada 33,4 Juta Penduduk Indonesia Kekurangan Air Bersih," Suara, 23 November 2018. [Online]. Available: <https://www.suara.com/health/2018/11/23/162639/ada-334-juta-penduduk-indonesia-kekurangan-air-bersih>. [Diakses 14 November 2019].
- [3] M. Ambari, "Indonesia Negeri Tropis, Tapi Krisis Air Bersih di Kawasan Pesisir Terjadi?," Mongabay, 23 Maret 2018. [Online]. Available: <https://www.mongabay.co.id/2018/03/23/indonesia-negeri-tropis-tapi-krisis-air-bersih-di-kawasan-pesisir-terjadi/>. [Diakses 14 November 2019].
- [4] J. O'Connor, T. O'Connor dan R. Twait, *Water Treatment Plant Performance Evaluations and Operations*, Wiley, 2009.
- [5] N. D. Mehendale, O. A. Sharma, S. A. Shah dan S. L. Vishwakarma, "Metropolitan Water Tank Pollution Monitoring and Purification using PID," dalam *International Conference on Communication and Signal Processing*, India, 2016.
- [6] Menteri Kesehatan Republik Indonesia, "Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum," Menteri Kesehatan Republik Indonesia, 2017.
- [7] IUPAC, *Definition of pH scales, standard reference values, measurement of pH and related terminology*, 1984.
- [8] J. Schleicher, "Information on pH measurement," JUMO GmbH & Co. KG, Fulda, 2007.
- [9] M. J. Schöning, A. Poghossian, O. Glück dan M. Thust, "Electrochemical Composition Measurement," dalam *Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook 2nd ed. (Electromagnetic, Optical, Radiation, Chemical, and Biomedical Measurement)*, CRC Press, 2014, pp. 55-12.
- [10] Y. Youlin, W. Qinghui dan D. Shuo, "Application of pH Control based on Adaptive PID in Acid-alkali Neutralization Reaction," dalam *Chinese Control Conference*, Heifei, 2012.