



Pengendali Pompa Pengisi Galon Air Berbasis Sensor Waterflow Dan Mini PC

Andrizal^a, Dodon Yendri^b

^aJurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Padang, Email : andrizalpoli@gmail.com

^bJurusan Sistem Komputer, Fakultas Teknologi Informasi, UNAND Padang, Email : dodon_y@yahoo.com.

Abstract

The filling a gallon process in a drinking water depot uses a water pump performed by the operator manually by pressing the on or off button. When the gallon filling process is in progress, the operator always observes the water conditions in the gallon whether the water is fully loaded or not. The operator will spend more time observing the gallon until it is fully or almost full, then the switches to off. When the OFF button is activated, it is very possible that the water will spill out because the pump motor has not fully stopped this is caused by the water pump that is still being pumped the water while it has been turned off. This study aims to control the rotation of the water pump motor when filling the gallon. The pump motor works automatically with the PID method, filling the gallon according to the desired set point. Tests have been performed on 5 liters gallons, 10 liters and 19 liters. The results of system accuracy are filling 5.5 liters gallon with 99.40% accuracy, 10 liters gallon with 99.779% accuracy and for 19 liters gallon with 99.865% accuracy.

Key words : *control, filling, waterflow.*

Abstrak

Proses pengisian galon di minum depot air menggunakan pompa air yang dilakukan oleh operator secara manual dengan menekan tombol on atau off. Ketika proses pengisian galon sedang berlangsung, operator selalu memperhatikan kondisi air di dalam galon apakah air sudah terisi penuh atau belum. Operator akan menghabiskan lebih banyak waktu mengamati galon sampai terisi penuh atau hampir penuh, kemudian sakelar di OFF kan. Ketika tombol OFF diaktifkan, maka sangat mungkin air akan tumpah karena motor pompa belum sepenuhnya berhenti karena masih ada air yang dipompakan oleh motor. Penelitian ini bertujuan untuk mengontrol putaran motor pompa air ketika mengisi galon. Motor pompa bekerja secara otomatis dengan metoda PID, mengisi galon sesuai dengan set point yang diinginkan. Pengujian telah dilakukan pada galon volume 5 liter, 10 liter dan 19 liter. Hasil uji ketelitian sistem mengisi galon galon kapasitas 5 liter 99,40%, galon 10 liter 99,779% dan 99,865% untuk galon 19 liter.

Kata Kunci : *Kontrol, pengisian, aliran air..*

© 2017 Jurnal RESTI

1. Pendahuluan

Depot penjualan air isi ulang termasuk usaha kecil yang perkembangannya cukup pesat hampir diseluruh daerah perkotaan bahkan sampai dipedesaan di seluruh Indonesia. Mereka melayani masyarakat yang membutuhkan air minum siap saji menggunakan galon. Setiap waktu pelanggan datang membawa galon isi ulang atau galon air minum diantar langsung ke rumah pelanggan berdasarkan pesananan. Kegiatan rutin yang dilakukan pada depot air minum isi ulang adalah proses pengisian galon air. Proses pengisian galon ini dilakukan dengan bantuan adanya pompa air yang digerakkan oleh motor listrik. Pekerja menekan tombol *ON* untuk mengaktifkan pompa saat mengisi dan

menekan tombol *OFF* ketika air yang di isi pada galon sudah penuh atau hampir penuh. Saat proses pengisian air berlangsung, pekerja selalu mengamati air yang ada pada galon, kemudian mematikan pompa ketika air galon hampir penuh [1][2].

Proses yang dilakukan pekerja ini memiliki beberapa kelemahan :

- a. Kurang efisien dari sisi waktu. hal ini disebabkan karena waktu pekerja tersita untuk mengamati kondisi air galon sampai hampir penuh atau penuh kemudian mematikan pompa pengisi.
- b. Adanya air yang tumpah saat proses mematikan pompa. Ketika sakelar pompa di *off* -kan, maka motor pompa masih berputar dan akibatnya

masih ada sisa air yang ada pada pompa dan tetap mengalir beberapa saat, sementara galon sudah penuh.

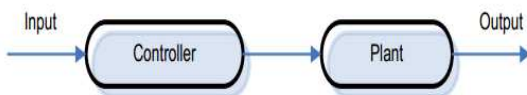
Permasalahan ini dapat diatasi dengan pengendalian proses *ON* dan *OFF* pompa air saat mengisi galon, sehingga waktu pekerja menjadi efisien dan air yang tumpah dapat dihindari.

2. Tinjauan Pustaka

Kendali merupakan tindakan atau aktifitas yang dilakukan agar mendapatkan kondisi yang diinginkan. Sistem kontrol otomatis berfungsi mengendalikan proses tanpa adanya campur tangan manusia [3][4][5]. Ada dua sistem kontrol pada sistem kontrol otomatis yaitu:

Open Loop (Loop Terbuka)

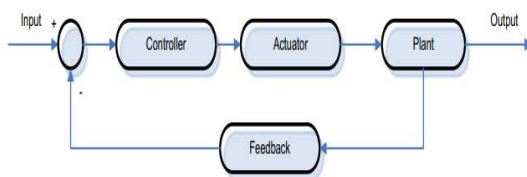
Sistem kontrol terbuka merupakan suatu sistem kontrol yang keluarannya tidak berpengaruh terhadap aksi pengendalian. Yang artinya nilai keluaran tidak diumpan balik ke parameter pengendalinya. Perhatikan Gambar 1.



Gambar 1. Sistem kendali *OpenLoop*.

Close Loop (Loop Tertutup)

Sistem kontrol tertutup merupakan kebalikan dari sistem kontrol terbuka yang mana, sinyal keluaran memiliki pengaruh langsung kepada aksi pengendalian yang dilakukan. Sinyal *error* merupakan selisih antara sinyal masukan dan sinyal umpan balik dan untuk memperkecil kesalahan dikirimkan kepada pengendali (kontroler)[3];[4];[5];[6]. Lihat Gambar 2.



Gambar 2. Sistem kendali *CloseLoop*

Kelebihan sistem tertutup ini adalah pemanfaatan umpan balik yang membuat sistem tidak peka terhadap gangguan internal dan perubahan internal. Namun kekurangannya tidak dapat melakukan aksi perbaikan jika terjadi suatu kesalahan yang mempengaruhi nilai prosesnya.

Aksi kendali adalah tindakan yang dilakukan oleh kontroler terhadap komponen output (plant) agar

sesuai dengan set point yang diinginkan. Terdapat beberapa aksi kendali sebagai berikut :

On-off control action

Pada sistem kontrol dua posisi, elemen aktuasi hanya mempunyai dua posisi yang tetap. Kontrol on-off ini banyak digunakan di industri karena murah dan sederhana. Sinyal kontrol akan tetap pada satu keadaan dan akan berubah ke keadaan lainnya bergantung pada nilai *error* positif atau negatif [4];[5].

$u(t)$ = sinyal kontrol

$e(t)$ = sinyal *error*

$u(t) = U1, e(t) > 0$

$= U2, e(t) < 0$

Kontroler dua posisi pada umumnya dijumpai pada komponen elektrik (*relay*) dan komponen pneumatik (katup dan silinder).

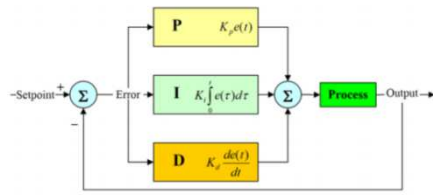
Proportional, Integral Derivate (PID)

PID merupakan sistem kontrol yang banyak digunakan dalam dunia industri selama 50 tahun belakangan ini. Ribuan kontroler dalam berbagai industri, seperti industri penyulingan, industri kimia, dan industri pengolahan kertas menggunakan struktur pengendalian PID dalam prosesnya [1];[2];[3].

Kontroler PID merupakan kontroler berumpan balik terdiri dari 3 jenis pengaturan yang saling dikombinasikan, yaitu kontroler P (*Proportional*), kontroler I (*Integral*), dan kontroler D (*Derivative*) yang masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset*, dan menghasilkan perubahan awal yang besar [5];[9];[10];[11].

Kontroler PID merupakan jumlah dari keluaran kontroler proporsional, keluaran kontroler integral dan keluaran kontroler *derivative*. Karakteristik kontroler PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar ketiga parameter dari P, I dan D. Penyetelan konstanta K_p , K_i , dan K_d akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Satu atau dua dari ketiga konstanta tersebut dapat disetel lebih menonjol dibanding yang lain. Konstanta yang menonjol memberikan kontribusi pengaruh pada respon sistem secara keseluruhan. Parameter-parameter tersebut tidak bersifat independen, sehingga pada saat salah satu nilai konstanta diubah, maka mungkin sistem tidak akan bereaksi seperti yang diinginkan [3];[4];[11].

Diagram blok untuk pengendali *Proportional* (P), *Integral* (I) dan *derivative* (D) diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Blok diagram PID

Pengendali proporsional K_p akan memberikan efek mengurangi waktu naik tetapi tidak menghapus kesalahan secara terus-menerus. Pengendali integral K_i memberikan efek menghapus kesalahan secara terus-menerus tetapi berakibat memburuknya tanggapan *transient*. Pengendali *derivative* K_d akan memberikan efek meningkatnya stabilitas sistem, mengurangi lewatan maksimum dan menaikkan tanggapan fungsi transfer. Efek dari setiap pengendali dalam sistem lingkaran tertutup dapat dilihat pada tabel 1.

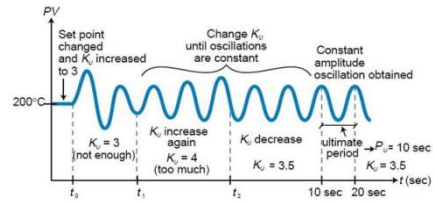
Tabel 1. Kondisi pengaturan nilai PID

Closed-Loop Response	Rise Time	Over shoot	Setting Time	SS Error
K_p	Naik	naik	naik sedikit	Turun
K_i	Turun	naik	naik	Tetap
K_d	Berubah Sedikit	turun	turun	Berubah sedikit

Dari Tabel 1, dapat diketahui bahwa pengendali proporsional akan mengurangi waktu naik, meningkatkan persentase lewatan maksimum dan mengurangi kesalahan secara terus-menerus. Sedangkan pengendali proporsional *derivative* mereduksi lewatan maksimum dan waktu turun. Selain itu, pengendali proporsional integral menurun pada waktu naik, meningkatkan lewatan maksimum dan waktu turun dan akan menghilangkan kesalahan keadaan.

Pencarian Parameter PID

Ziegler dan Nichols mengemukakan aturan dalam pengambilan nilai pada penguatan proporsional K_p , waktu integral T_i dan waktu *derivative* T_d , berdasarkan karakteristik respon transien dari sebuah *plant* [5];[9]. Awalnya di atur $T_i = \infty$ dan $T_d = 0$. Dengan menggunakan kontroler proporsional K_p dinaikkan dari nol sampai mencapai nilai kritis K_{cr} dimana output $c(t)$ mulai menunjukkan osilasi. Penguatan nilai kritis berpasangan dengan perioda kritis P_{cr} yang ditentukan dari percobaan [5];[6];[7];[8]. Gambar 4.



Gambar 4. Osilasi Pada PID

Menurut saran Ziegler untuk nilai K_p , K_i dan K_d sehendaknya sesuai dengan nilai yang diberikan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 Perhitungan nilai K_p , K_i dan K_d

Tipe Pengontrol	K_p	K_i	K_d
P	T/L	-	-
PI	$0.9(T/L)$	$0.27(T/L^2)$	-
PID	$1.2(T/L)$	$0.6(T/L^2)$	$0.6T$

Sensor Waterflow

Water flow sensor atau sensor aliran air, adalah sensor yang berfungsi untuk mengetahui volume air atau fluida pada suatu pipa atau saluran yang melewati sensor tersebut. *Water flow sensor* terdiri dari tubuh katup plastik, rotor air, dan sensor *hall effect*. Ketika air mengalir melalui wadah/penampang rotor, maka kecepatan rotor akan berubah sesuai dengan kecepatan aliran air. Sensor ini memanfaatkan fenomena *hall effect*. Efek hall terjadi ketika konduktor pembawa arus tertahan pada medan magnet, medan memberi gaya menyamping pada muatan-muatan yang mengalir pada konduktor

Hall effect sensor merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi medan magnet. *Hall effect sensor* akan menghasilkan sebuah tegangan yang proporsional dengan kekuatan medan magnet yang diterima oleh sensor [13].

Proses pengkonversian berlangsung dalam sensor. Adanya *fluida* yang mengalir pada sensor mengakibatkan kincir pada sensor akan berputar. Putaran pada kincir akan menimbulkan medan magnet pada kumparan yang terdapat pada *water flow sensor*. Medan magnet tersebut yang akan dikonversikan oleh efek hall menjadi pulsa.

Aliran (Q) didefinisikan sebagai jumlah zat yang melewati titik tertentu atau bagian tertentu selama satuan waktu. Prinsip pengukuran volume aliran menggunakan Persamaan :

$$Qv = v * A \dots\dots\dots(1)$$

Dimana Qv adalah aliran fluida (m^3/s),
 v adalah kecepatan rata-rata (m/s)
 A adalah luas penampang (m^2)

Sensor *waterflow* terdiri dari tubuh katup plastik, rotor air dan sensor *hall effect*. Ketika air mengalir melalui rotor, maka rotor akan berputar. Kecepatan perubahan

dengan tingkat yang berbeda aliran. Pada sensor hall efek memiliki sinyal keluaran berupa sinyal pulsa. Kelebihan sensor ini hanya membutuhkan 1 sinyal (SIG) selain jalur 5V dc dan ground. Lihat Gambar 5.



Gambar 5. Sensor waterflow



Gambar 6. Beberapa contoh galon air dengan volume yang berbeda.

Beberapa penelitian yang terkait dengan pengendalian atau otomatisasi pengisian galon air minum sudah dilakukan oleh peneliti terdahulu diantaranya :

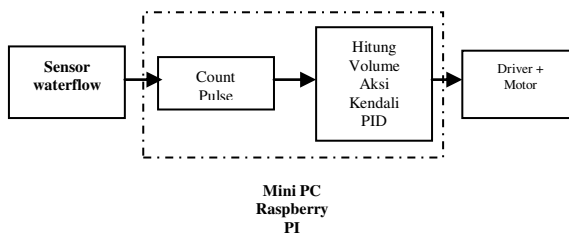
- Marlin M, Indra S, dengan judul model otomatisasi pengisian ulang air minum, T E S L A, Vol. 10 No. 2 Oktober 2008. Hasil penelitian adalah Sensor air yang terdapat pada selang pengisian dapat mendeteksi kepenuhan air dan menghentikan pengisian bilamana konsumen melakukan pembelian dengan jumlah liter dan kapasitas wadah yang digunakan tidak sama. Keterbatasan kepekaan sensor photo interrupter menunjukkan penyimpangan hasil kalibrasi sistem ini untuk pengisian 1 liter sampai dengan 15 liter terjadi penyimpangan sebesar $\pm 5\%$ dari volume sesungguhnya [12].
- Imam S, Wahyu S.P," Aplikasi load cell untuk otomatisasi pada depot pengisian air minum ulang", Jurnal Sain Dan Teknologi, Vol 1 No 1 Tahun 2015. Tingkat keberhasilan sistem hanya mampu menghentikan proses pengisian 60% diakibatkan respon sensor hanya mampu membaca data saat benda atau objek diam [13].

Penelitian ini memanfaatkan data volume air yang mengalir pada sensor *waterflow* untuk diproses oleh kontroler secara aksi kontrol PID. Kontroler berfungsi mengatur putaran motor pompa mulai dari saat pengisian galon sampai galon terisi penuh. Sistem akan menghentikan putaran motor pompa ketika air yang diisikan ke galon sudah sesuai dengan *set point* yang diinginkan. Untuk penelitian ini digunakan 3 jenis galon dengan volume yang berbeda.

3. Metodologi Penelitian

Data yang terbaca oleh sensor *waterflow*, dibandingkan dengan volume *set point* yang diinginkan. *Error* yang didapat pada perbandingan ini diolah pada Mini PC Raspberry PI 3, untuk melakukan aksi kendali PID pada motor pompa pengisi air galon mulai saat pengisian sampai galon terisi penuh. Lihat Gambar 6.

Blok diagram proses sistem ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Blok diagram proses sistem

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah :

- Tahap penentuan konstanta pengali sensor *waterflow* untuk galon volume 5, 10 dan 19 liter. Proses ini dilakukan dengan penentuan nilai konstanta sensor, selanjutnya membandingkan pembacaan volume air yang terbaca sensor dengan pengukuran manual untuk mendapatkan konstanta dengan nilai *error* terkecil.
- Proses *tuning respons transient* sistem dilakukan untuk mendapatkan nilai L dan T untuk menghitung nilai PID yang dibutuhkan agar motor pompa berhenti sesuai dengan volume air sesuai *set point*.
- Proses pengujian nilai PID dan mengkonversi menjadi nilai PWM (*Pulse Wide Modulation*) untuk mengaktifkan motor pompa selama proses pengisian sampai volume air yang diinginkan tercapai.
- Pengujian ketelitian sistem untuk mengisi galon kapasitas 5 liter, 10 liter dan 19 liter.

4. Hasil dan Pembahasan

Data yang dihasilkan oleh sensor *waterflow* berupa data pulsa-pulsa *high* dan *low* dengan frekuensi berbeda-beda, tergantung kecepatan air yang mengalir pada galon tersebut. Data frekuensi gelombang tersebut diubah menjadi jumlah volume yang dihasilkan dengan menggunakan nilai konstanta pengali yang diproses sebagai berikut :

$aliran = pulsa / konstanta;$
 $kecepatan = (aliran / 60) * 1000;$
 $liter += kecepatan;$

Pengujian konstanta pengali sensor *waterflow* dilakukan untuk menyesuaikan data hasil pembacaan volume air pada sensor *waterflow* dengan volume air yang sebenarnya. Berdasarkan *datasheet* dari sensor *waterflow*, nilai konstanta awal yang dianjurkan adalah 7,5. Namun untuk menghasilkan data yang lebih akurat, maka diperlukan adanya pengujian konstanta sensor [12];[13];[14]. Proses pengujian dilakukan sebanyak 30 kali untuk setiap nilai konstanta yang ditetapkan terhadap masing-masing galon air dengan volume 5, 10 dan 19 liter. Hasil uji ini ditampilkan pada tabel 3, dengan nilai rata-rata *error* setiap konstanta yang ditetapkan.

Tabel 3. Hasil penetapan konstanta pengali dan *error* antara pembacaan volume air dari sensor dan volume air terukur.

No	Konstanta Pengali	Error rata-rata (ml)
1	7.5	448
2	7.7	157
3	7.9	90
4	8.1	258

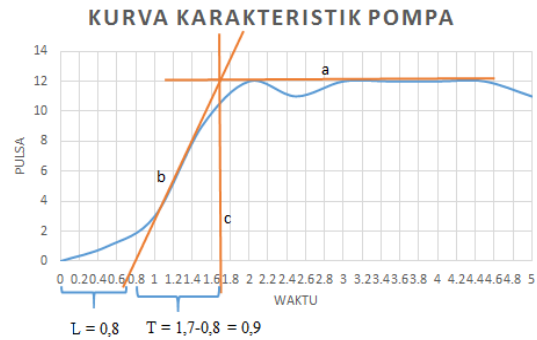
Dari nilai ketetapan konstanta pengali, dapat dilihat perbandingan nilai konstanta yang didapatkan. Dari tabel, dapat dilihat selisih nilai yang paling sedikit antara data hasil pembacaan sensor *waterflow* dan volume sebenarnya adalah tabel dengan nilai konstanta 7,9; dengan nilai *error* 90 ml.

Proses penalaan nilai PID.

Penalaan nilai PID dilakukan dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols secara kurva reaksi. Pertama-tama pompa air diaktifkan. Nilai pulsa yang didapat oleh sensor *waterflow* disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 8.

Pertama-tama ditarik garis lurus yang berhimpit dengan garis pada saat sistem stabil (garis a), lalu ditarik garis singgung pada titik belok kurva (garis b) sampai berpotongan dengan garis horizontal tersebut. Pada titik potong antar kedua garis tersebut ditarik lagi garis tegak lurus terhadap sumbu x. T didapat dari jarak antara perpotongan garis c dan b dengan sumbu x, sementara nilai L didapat dari jarak antara titik 0 ke perpotongan garis b dengan sumbu x.

Pengujian untuk menentukan nilai konstanta PID dilakukan sebanyak 5 kali, nilai konstanta PID untuk tiap percobaan dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 8. Kurva respons pompa.

Tabel 4. Penalaan nilai konstanta Kp, Ki dan Kd.

No	Kp	Ki	Kd
1	1,067	0,84	0,54
2	1,8	1,125	0,72
3	2,056	1,47	0,72
4	3,200	2,67	0,96
5	2,228	1,6	0,78

Pengujian Nilai PID

Dari pengambilan data PID pada tabel 4, didapat beberapa nilai untuk PID. Pengujian dilakukan untuk menentukan nilai konstanta PID mana yang cocok untuk diterapkan pada sistem ini. Pengujian dilakukan dengan menerapkan algoritma PID sebagai berikut:

Penentuan nilai error

Nilai *error* merupakan selisih dari volume *Set point* dengan volume saat ini.

$$error = setPoint - liter;$$

Penentuan jumlah error

Jumlah *error* merupakan penjumlahan nilai *error* dengan nilai *error* sebelumnya, sementara beda *error* merupakan selisih nilai *error* yang didapat dengan nilai *error* sebelumnya.

$$jumError = error + errorSeb;$$

$$bedaError = error - errorSeb;$$

Penentuan Nilai total output PID

Penentuan output PID merupakan hasil penjumlahan dari perhitungan konstanpa P, I dan D.

$$outP = error * kp;$$

$$outI = ki * jumError;$$

$$outD = kd * bedaError;$$

$$out = outP + outI + outD;$$

Nilai output PID di batasi sesuai dengan nilai PWM yang diberikan, yaitu antara 0 hingga 255, namun karena berdasarkan pengambilan data sebelumnya, yaitu data pengujian driver pompa (tabel 4.10), jika diberikan PWM 25 atau lebih kecil, air tidak bisa dikeluarkan oleh pompa, maka batas bawah untuk nilai output adalah 25 dan batas atasnya 255.

if (out <= 25)
out = 0;
else if (out > 255)
out = 255;

Pengujian nilai PID dilakukan dengan cara mencari nilai selisih terkecil antara volume yang diinginkan dengan volume sebenarnya. Sistem diuji dengan menetapkan *set point* sebesar 1000 ml, berikut hasil yang didapat.

Pengujian pertama dilakukan dengan menetapkan nilai $K_p = 1,067$; $K_i = 0,84$; $K_d = 0,54$. Pada pengujian ini dilakukan uji coba sebanyak 5 kali .

Tabel 5. Pengujian Sistem dengan $K_p=1,067$; $K_i = 0,84$; $K_d = 0,54$

No	Volume (ml)	Selisih (ml)
1	1019.37	19.37
2	1019.67	19.67
3	1020.02	20.02
4	1009.19	9.19
5	1026.14	26.14
Jumlah		94.39

Pengujian ke dua dilakukan dengan menetapkan nilai $K_p = 1,8$; $K_i = 1,125$; $K_d = 0,72$. Pada pengujian ini dilakukan pengambilan data sebanyak 5 kali percobaan. ujicoba sebanyak 5 kali.

Tabel 6. Pengujian Sistem dengan $K_p = 1,8$; $K_i = 1,125$; $K_d = 0,72$

No	Volume (ml)	Selisih (ml)
1	1026.40	26.40
2	1024.99	24.99
3	1020.08	20.08
4	1023.24	23.24
5	1018.32	18.32
Jumlah		113.03

Pengujian ke tiga dilakukan dengan menetapkan nilai $K_p = 2,056$; $K_i = 1,47$; $K_d = 0,72$. Pada pengujian ini dilakukan ujicoba sebanyak 5 kali.

Tabel 7. Pengujian Sistem dengan $K_p = 2,056$; $K_i = 1,47$; $K_d = 0,72$

No	Volume (ml)	Selisih (ml)
1	1013.75	13.75
2	1023.94	23.94
3	1019.02	19.02
4	1016.92	16.92
5	1015.86	15.86
Jumlah		89.49

Pengujian ke empat dilakukan dengan menetapkan nilai $K_p = 3,2$; $K_i = 2,67$; $K_d = 0,96$. Pada pengujian ini dilakukan ujicoba sebanyak 5 kali

Tabel 8 Pengujian Sistem dengan $K_p = 3,2$; $K_i = 2,67$; $K_d = 0,96$

No	Volume (ml)	Selisih (ml)
1	1028.51	28.51
2	1023.94	23.94
3	1018.32	18.32
4	1020.43	20.43
5	1013.40	13.40
Jumlah		104.6

Pengujian ke lima dilakukan dengan menetapkan nilai $K_p = 2,228$; $K_i = 1,6$; $K_d = 0,78$. Pada pengujian ini dilakukan sebanyak 5 kali percobaan.

Tabel 9. Pengujian Sistem dengan $K_p = 2,228$; $K_i = 1,6$; $K_d = 0,78$

No	Volume (ml)	Selisih (ml)
1	1022.18	22.18
2	1023.24	23.24
3	1010.59	10.59
4	1020.69	20.69
5	1020.43	20.43
Jumlah		97.13

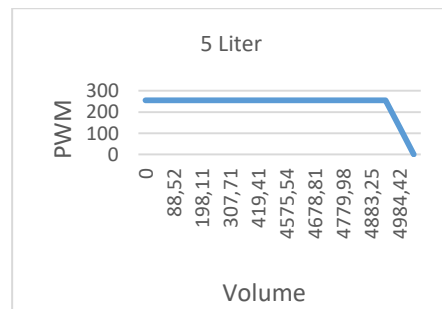
Dari data diatas, nilai konstanta PID yang menghasilkan nilai selisih terkecil adalah konstanta dengan nilai $K_p = 2,056$; $K_i = 1,47$; $K_d = 0,72$. Untuk pengujian selanjutnya nilai konstanta PID yang akan digunakan adalah data tersebut.

Pengujian Ketelitian Sistem

Pengujian Pengisian galon kapasitas 5 liter.

Pada pengujian sistem dengan menggunakan galon ukuran 5 L (5000 ml), volume total yang dialirkan sebelum sistem berhenti adalah 5026.57 ml. Terdapat selisih sebesar 26.57 ml dari nilai yang sebenarnya. Pengisian berlangsung selama 90 detik dengan rincian volume, nilai *error* serta PWM tiap detiknya pada Gambar 9.

Pada Gambar 9, dapat dilihat nilai PWM pompa mulai dari volume 0 hingga volume 4933.83 ml bernilai 255. Pada saat nilai volume 4984.42 ml, pompa mulai melambat dengan nilai PWM 128. Pada detik selanjutnya pompa tidak lagi berputar karena nilai PWM yang diberikan oleh arduino 0, tetapi volume air tetap bertambah karena masih ada air yang mengalir melewati pipa.



Gambar 9. Kurva hubungan volume terhadap PWM driver motor saat pengisian galon 5L

Setelah dilakukan pengujian sebanyak 30 kali maka didapatkan *error* rata-rata antara volume pengisian galon dengan sistem dan volume terukur sebesar 0, 29,8 ml. maka % *Error* = rata *error*/nilai yang diinginkan x 100%

$$\% Error = 29,7/5000 \times 100\%$$

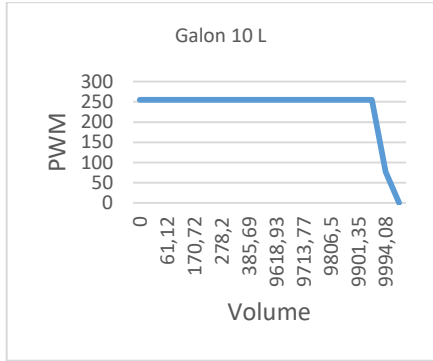
$$\% Error = 0,595 \%$$

$$Ketelitian = 100\% - Error.$$

Dengan demikian ketelitian yang didapatkan adalah 99,405 %.

Pengujian pengisian galon Kapasitas 10 Liter.

Pengujian pada galon dengan volume 10 L (10000 ml) berlangsung selama 171 detik dengan rincian volume, nilai error dan PWM tiap detiknya seperti pada grafik gambar 10.



Gambar 10. Kurva hubungan volume Terhadap PWM driver motor saat pengisian galon 10L

Pengujian pada galon dengan volume 10000 ml menghasilkan volume akhir sebesar 10019.37 ml. Maka dapat dicari persentase error dan ketelitian dari pengisian galon ini adalah

Setelah dilakukan uji coba sebanyak 30 kali, maka didapat rata-rata error antara volume pengisian sistem dengan nilai sebenarnya sebesar 22,1 ml

$$\% \text{ Error} = \frac{\text{nilai error}}{\text{nilai yang diinginkan}} \times 100\%$$

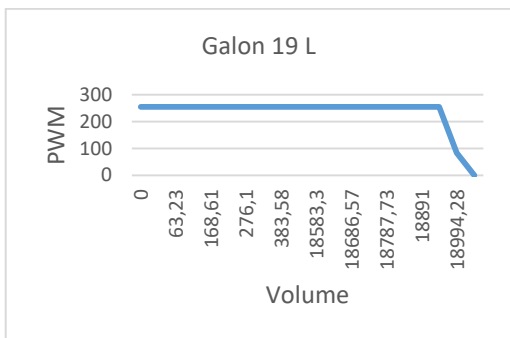
$$\% \text{ Error} = \frac{22.1}{10000} \times 100\%$$

$$\% \text{ Error} = 0,221 \%$$

Ketelitian = 100% - Error, sehingga ketelitian menjadi 99,779 %.

Pengujian pengisian galon Kapasitas 19 Liter

Pengujian dengan volume galon 19 L (19000 ml) menghasilkan volume akhir 19023.78 ml selama 326 detik dengan rincian volume, nilai error serta nilai PWM sebagai berikut



Gambar 11. Kurva hubungan volume terhadap PWM driver motor saat mengisi galon 19L.

Dengan melakukan uji sebanyak 30 kali, maka didapatkan % error : 0,135 % , Ketelitian proses pengisian ini adalah 99,865 %.

5. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal,

1. Sensor *waterflow* yang digunakan memiliki nilai konstanta pengali sebesar 7,9 untuk mengisi galon volume 5, 10, dan 19 liter.
2. Penggunaan penalaan PID Ziegler-Nichols dengan metode kurva reaksi dapat diterapkan pada sistem dengan nilai $K_p = 2,056$; $K_i = 1,47$; $K_d = 0,72$.
3. Penggunaan pengendali PID mampu melakukan pengisian galon dengan nilai persentase error 0,595 %, 0,221 % dan 0,135 %.
4. Semakin kecil ukuran galon yang diisi, semakin besar error yang terjadi, hal ini disebabkan *transient* proses *off* motor pompa yang semakin singkat.

5.2 Saran

Setelah menganalisa hasil penelitian ini selanjutnya, penulis menyarankan beberapa hal :

1. Proses penalaan untuk mendapatkan konstanta K_p , K_i , dan K_d harus dilakukan dengan teliti untuk mendapatkan ketelitian hasil yang baik.
2. Untuk pengembangan sistem selanjutnya dapat ditambahkan otomatisasi untuk membaca ukuran galon yang akan diisi.

6. Daftar Rujukan

- [1]. Qory Hayati," *Pengaturan Kecepatan Motor DC Dengan Menggunakan Mikrokontroler Atmega 8535*", Jurnal Ilmiah Politeknik Balikpapan, vol 4 no 1, tahun 2012, hal 1-5.
- [2]. K.J. Aström, T. Hägglund, "The future of PID control", Control Engineering Practice 9, 2001.
- [3]. Isnain N. R, Panji SGA," *Penerapan Algoritma Kendali Proportional Integral Derivative Pada Sistem Real Time Untuk Mempelajari Tanggapan Transien*", Prosiding SENTIA, vol 6, tahun 2014. Hal A47-A41.
- [4]. Henry Toruan,"*Simulasi Sistem Kontrol Pid Untuk Motor Dc Dengan Simulink Matlab*," jurnal polimedia, Volume 13 no 4,tahun 2010.
- [5]. Thiang Thiang, Yohanes TDS, Andre Mulya," *Pengaturan Level Ketinggian Air Menggunakan Kontrol PID*," Jurnal Teknik Elektro, volume 4 No 2 Tahun 2012, hal 79-84.
- [6]. Kiki Prawiroredjo, Ignatius Melvin Susantio,"*Pengatur Ketinggian Air Otomatis*", JETri, Volume 9, Nomor 2, Februari 2010, hal 25-44.
- [7]. Anthoinete P.Y. Waroh," *Analisa Dan Simulasi Sistem Pengendalian Motor DC*", Jurnal Ilmiah Sains, Vol 14 No 2, tahun 2014, hal 80-86.
- [8]. Heri Haryanto, Sarif Hidayat," *Perancangan HMI (Human Machine Interface) Untuk Pengendalian Kecepatan Motor DC*", SETRUM – Volume 1, No. 2, Desember 2012, hal 9-16.
- [9]. Fajar Guntara, Wildian," *Rancang Bangun Prototipe Spbu-Mini Berbasis Mikrokontroler Atmega8535 Dengan*

- Keluaran Berdasarkan Nilai Masukan Dalam Rupiah*", Jurnal Fisika Unand Vol. 4, No. 1, Januari 2015, hal 43-50.
- [10]. L. Desbourough, R. Miller, "Increasing customer value of industrial control performance monitoring", Honeywell's experience, in: Sixth International Conference on Chemical Process Control, AIChE Symposium Series Number 326, vol. 98, 2002.
- [11]. Putrasito, P., "Pengaturan Volume Air Menggunakan Water Flow Sensor dalam Bahasa C Berbasis Mikrokontroler Atmega8535", Skripsi, FMIPA, USU, Medan, tahun 2012.
- [12]. Marlin M, Indra S, "Model otomatisasi pengisian ulang air minum", T E S L A, Vol. 10No. 2 Oktober 2008, hal 97-102.
- [13]. Imam S, Wahyu S.P, " Aplikasi load cell untuk otomatisasi pada depot pengisian air minum ulang", Jurnal Sain Dan Teknologi, Vol 1 No 1 Tahun 2015, hal 11-19.