

UJI PERFORMANSI PADA SISTEM KONTROL LEVEL AIR DENGAN VARIASI BEBAN MENGGUNAKAN KONTROLER PID

Joko Prasetyo, Purwanto, Rahmadwati.

Abstrak — Pompa air di dunia industri sudah umum digunakan sebagai aktuator pada pengontrolan level air atau cairan. Pada plant tangki dalam dunia industri dapat memiliki nilai katup keluaran air atau cairan yang bervariasi. Hal ini dapat mempengaruhi kinerja aktuator dan performansi sistem. Kontroler PID banyak digunakan di dunia industri karena responnya yang cepat, overshootnya kecil dan errornya kecil. Pada penelitian kali ini dilakukan uji performansi pada sistem kontrol level dengan variasi beban menggunakan kontroler PID. Pencarian parameter kontroler dengan menggunakan teori pertama metode *Ziegler-Nichols* didapat nilai parameter $K_p=23,04$, $K_i=23,04$, dan $K_d=5,76$. Percobaan pada *setpoint* 100 mm dengan variasi beban satu, dua dan tiga tanpa gangguan didapatkan *settling time* masing-masing adalah 12,6 detik, 16,4 detik dan 31,6 detik. Pada variasi beban satu, dua, dan tiga dengan gangguan didapatkan *settling time* masing-masing 12,7 detik, 17,4 detik, 27,6 detik. Sedangkan *error steady state* masing-masing variasi beban satu, dua dan tiga tanpa gangguan adalah 0,08021%, 1%, 4%. Pada variasi beban satu, dua dan tiga dengan gangguan didapatkan *error steady state* 0,115152%, 1,296117%, 4,62844%.

Kata kunci: Sistem Kontrol Level, Kontrol PID, Uji Performansi Sistem, Variasi Beban.

I. PENDAHULUAN

Motor listrik merupakan aktuator yang banyak digunakan di dunia industri dan di rumah tangga. Jenis motor listrik terdiri atas motor *Alternating Current* (AC) dan motor *Direct Current* (DC)[1]. Aplikasi motor listrik antara lain sebagai bor listrik, pompa air, konveyor, *lift* barang dll. Pompa air DC merupakan aplikasi motor DC sebagai aktuator dalam pengaturan level air.

Plant tangki dalam dunia industri dapat memiliki nilai katup keluaran yang bervariasi. Semakin besar nilai katup maka semakin besar pula kinerja aktuator. Hal ini dapat mempengaruhi performansi dari sistem dengan nilai parameter kontroler yang digunakan bernilai tetap atau konstan.

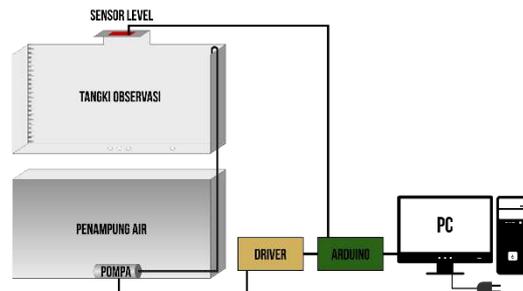
Kontroler PID merupakan gabungan dari tiga kontroler antara lain kontroler *Proportional* (P), kontroler *Integral* (I), dan kontroler *Derivative* (D). Kelebihan dari kontroler PID yaitu responnya yang cepat, overshootnya kecil dan errornya kecil.

Pada penelitian kali ini dilakukan uji performansi sistem kontrol level dengan variasi beban menggunakan kontroler PID.

II. DASAR TEORI

A. Plant Sistem Kontrol Level Air

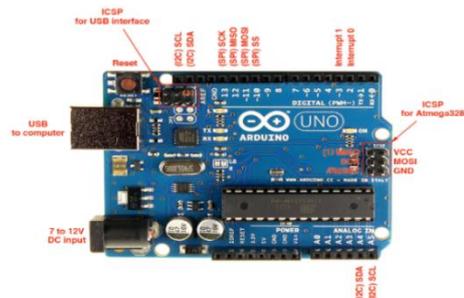
Komponen yang memberi supply air dan mengatur level air pada tangki observasi adalah motor pompa DC 12 Volt yang diletakkan pada tangki penampungan dibawah tangki observasi yang mempunyai dimensi panjang 30 cm, tinggi 20 cm dan lebar 5 cm (lihat Gambar 1). Di atas tangki observasi terdapat sensor jarak HC-SR04 untuk mengukur jarak atau ketinggian air didalam tangki observasi. Air didalam tangki akan keluar melalui lubang pada tangki observasi. Pada tangki observasi terdapat empat lubang, satu lubang terbuka, dua lubang buka tutup yang digunakan untuk mengatur beban keluaran air dan satu lubang buka tutup untuk gangguan.



Gambar 1. Plant Kontrol Level Air.

B. Arduino UNO

Arduino UNO adalah sebuah board mikrokontroler yang didasarkan pada ATmega328. Arduino UNO mempunyai 14 pin *digital input* dan *digital output* (6 di antaranya dapat digunakan sebagai *output PWM*), 6 *input* analog, sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah *power jack*, sebuah *ICSP header*, dan sebuah tombol *reset*. Arduino UNO memuat semua yang dibutuhkan untuk menunjang mikrokontroler, mudah menghubungkannya ke sebuah komputer dengan sebuah kabel USB atau mensuplainya sebesar 5 volt dengan sebuah *adaptor AC* ke DC atau menggunakan baterai untuk memulainya[2].



Gambar 2. Arduino UNO

C. Sensor Jarak HC-SR04

Sensor Ultrasonic merupakan sensor yang bekerja dengan cara memancarkan suatu gelombang dan kemudian menghitung waktu pantulan gelombang tersebut. Gelombang ultrasonic dapat dipantulkan oleh air. Sensor HC-SR04 memiliki jarak jangkauan minimal 2cm dan maksimal 400cm serta memiliki akurasi sebesar 3mm. Modul sensor Ultrasonic bekerja pada tegangan DC 5V, arus 15mA dan frekuensi 40Hz, dalam sebuah modul sensor ultrasonic terdiri dari Ultrasonic Transmitter, Receiver dan unit kontrol. Perhitungan waktu yang diperlukan modul sensor untuk menerima pantulan pada jarak tertentu menggunakan perhitungan selisih waktu pemancaran dan penerimaan dikali cepat rambat gelombang dibagi dua[3].



Gambar 3. Sensor Jarak HC-SR04

D. Kontroler Proporsional Integral Differensial (PID)

Gabungan aksi kontrol proporsional, integral, dan differensial mempunyai keunggulan dapat saling menutupi kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler. Persamaan kontroler PID ini dapat dinyatakan sebagai berikut (Persamaan 1)[4]:

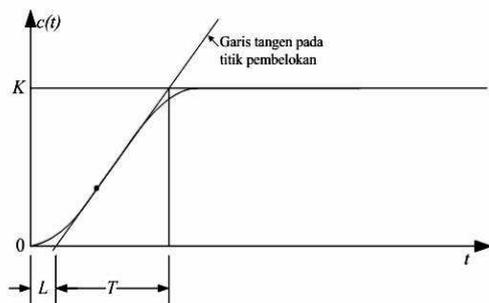
$$m(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \cdot \int e(t) dt + K_p \cdot T_d \frac{de(t)}{dt} \dots\dots\dots (1)$$

Dalam transformasi laplace dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \dots\dots\dots (2)$$

E. Perancangan Kontroler PID Menggunakan Metode Ziegler-Nichols

Ziegler dan Nichols mengemukakan aturan-aturan untuk menentukan nilai dari *gain* proporsional K_p , waktu integral T_i , dan waktu derivatif T_d berdasarkan karakteristik respon transien dari *plant* yang diberikan. Penentuan parameter kontroler PID atau penalaan kontroler PID tersebut dapat dilakukan dengan bereksperimen dengan plan[5].



Gambar 4. Kurva Respon yang Berbentuk S

Kurva berbentuk S dalam gambar 4 tersebut dapat dikarakteristikan menjadi dua konstanta yaitu waktu tunda L dan konstanta waktu T . Waktu tunda dan konstanta waktu ditentukan dengan menggambar sebuah garis tangen pada titik pembelokan dari kurva S, dan menentukan perpotongan antara garis tangen dengan sumbu waktu t dan sumbu $c(t) = K$. Fungsi alih $C(s)/U(s)$ dapat dilakukan pendekatan dengan sistem orde satu dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{K e^{-Ls}}{Ts+1} \dots\dots\dots (3)$$

Ziegler dan Nichols menyarankan untuk menentukan nilai-nilai dari K_p , T_i dan T_d berdasarkan pada formula yang ditunjukkan dalam Tabel 1. (Ogata, K., 1997).

Tabel 1 Rumus Metode Pertama Ziegler-Nichols

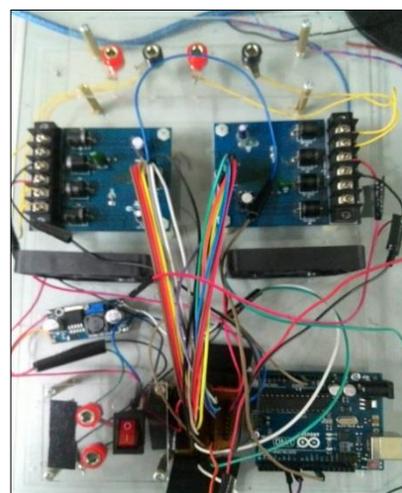
Tipe Kontroler	K_p	$T_i = K_p / K_i$	$T_d = K_d / K_p$
P	T/L	∞	0
PI	$0.9(T/L)$	$L/0.3$	0
PID	$1.2(T/L)$	$2 \times L$	$0.5 \times L$

III. PEMBUATAN PERANGKAT KERAS

Pembuatan perangkat keras dilakukan sebagai langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem beserta rangkaian elektronik pendukungnya, hal ini dimaksudkan agar sistem pengendali *level* air dapat berjalan sesuai dengan deskripsi awal yang telah direncanakan

A. Pembuatan Modul Rangkaian

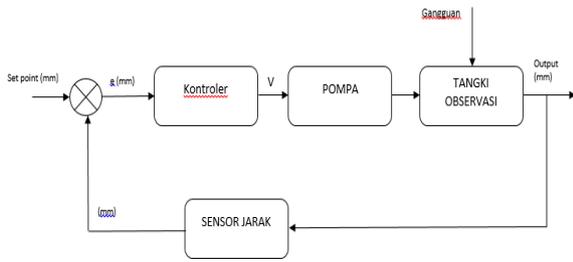
Konstruksi modul rangkaian elektrik pada gambar dibawah ini.



Gambar 5. Modul Rangkaian

B. Perancangan Blok Diagram

Pada perancangan alat diperlukan perancangan blok diagram sistem yang dapat menjelaskan sistem secara garis besar dan diharapkan alat bisa bekerja sesuai rencana.



Gambar 6. Blok Diagram

C. Perancangan Kontroler PID

Parameter PID didapat melalui gambar di bawah ini.



Gambar 7. Diagram alir sistem

Dari gambar didapatkan:

$$L = 0,5 \quad T = 9,6$$

Sesuai rumus Zieger Nichols didapatkan nilai parameter kontroler sebagai berikut:

$$Kp = 1,2 \times \frac{T}{L} = 1,2 \times \frac{9,6}{0,5} = 23,04$$

$$Ki = \frac{Kp}{Ti} = \frac{23,04}{2 \times L} = \frac{23,04}{2 \times 0,5} = 23,04$$

$$Kd = Kp \times Td = 23,04 \times (0,5 \times 0,5) = 5,76$$

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

Pengujian ini meliputi pengujian perangkat keras dalam hal ini pengujian sensor, pengujian driver, pengujian motor pompa, pengujian keseluruhan sistem.

A. Pengujian Sensor Jarak HC-SR04

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sensor jarak dalam membaca jarak dan perubahan jarak.

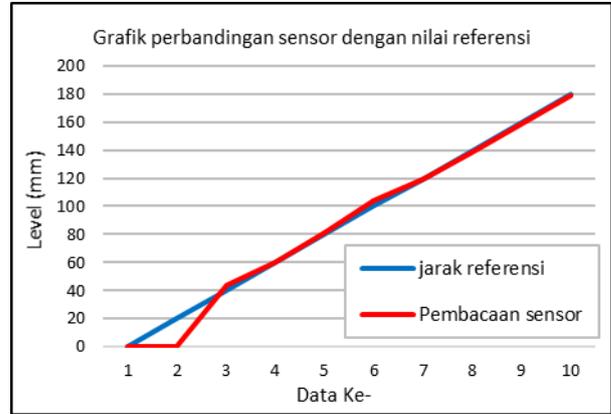
Tabel 2 hasil pengujian sensor HC-SR04

Jarak Referensi (mm)	Pembacaan sensor (mm)
0	0
20	0
40	44
60	60
80	81
100	104
120	120
140	139
160	159
180	179

Gambar 8. Grafik perbandingan Sensor HC-SR04 dengan Jarak referensi.

Sesuai dengan hasil pengujian tabel 2 dan gambar 8, sensor HC-SR04 memiliki kemampuan baik dalam melakukan pembacaan perubahan jarak dibuktikan dengan persen kesalahan sebesar 1.55556%

B. Pengujian driver EMS H-BRIDGE 5 A



Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui *output* tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian *driver* terhadap perubahan PWM dari Arduino UNO.

Tabel 3 Hasil Pengujian Driver

PWM	Tegangan rata-rata(V)
0	0
25	2.54
50	3.68
75	4.77
100	5.91
125	7.05
150	8.19
175	9.32
200	10.44
225	11.5
255	11.99

Sesuai dari tabel di atas didapatkan grafik antara tegangan dengan PWM.



Gambar 9. Grafik Hasil Pengujian Driver

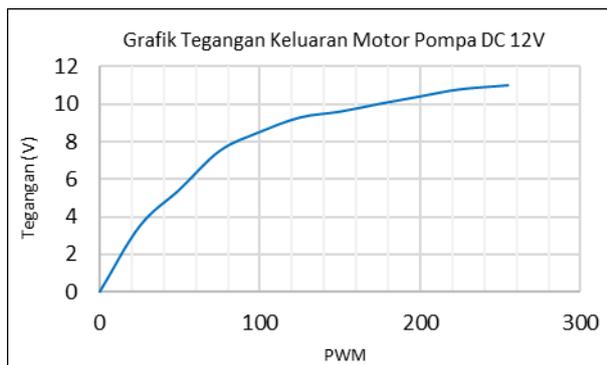
Hasil pengujian menunjukkan bahwa keluaran tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian *driver* memiliki tingkat linearitas yang baik.

C. Pengujian Motor Pompa DC 12 V

Mengetahui *range* kerja dari motor pompa DC 12 V dengan input PWM yang berbeda-beda.

Tabel 4 Hasil Pengujian Motor Pompa DC 12 V

PWM	Keluaran tegangan (volt)
0	0
25	3.5
50	5.45
75	7.5
100	8.5
125	9.27
150	9.58
175	10
200	10.39
225	10.77
255	10.98



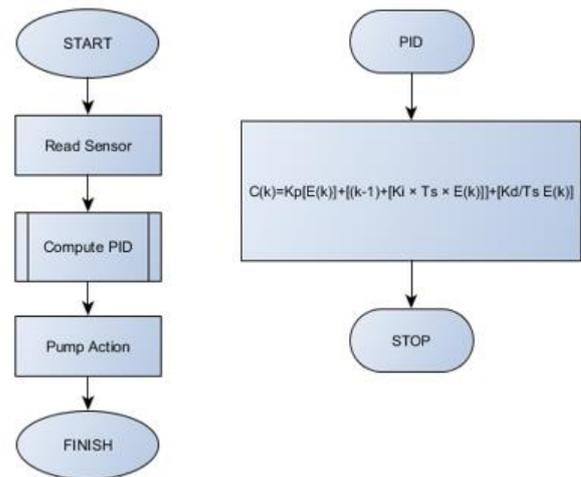
Gambar 10. Grafik hubungan PWM dengan tegangan keluaran motor pompa DC 12 V

Berdasarkan tabel 4 dan gambar 10 tegangan motor pompa DC berbeda-beda sesuai dengan PWM yang diberikan.

D. Pengujian Sistem Keseluruhan

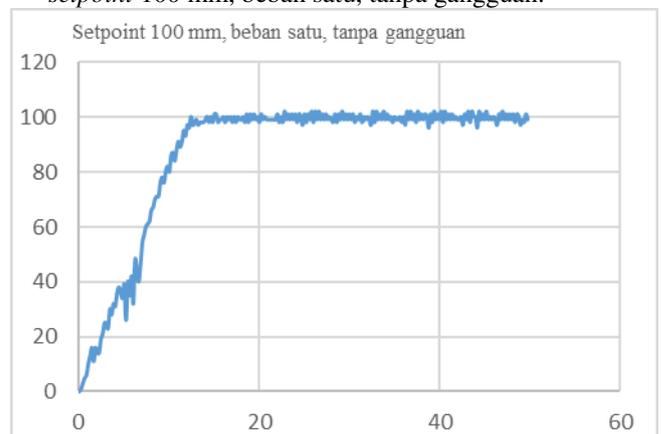
Pengujian sistem secara keseluruhan ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar nilai kontroler yang dibutuhkan agar sistem bekerja sesuai dengan *set point* yang diinginkan dengan variasi beban serta mengetahui hasil respon

Kerja sistem secara keseluruhan dijelaskan pada *flow chart* di bawah ini



Gambar 11. Flow Chart kerja sistem secara keseluruhan

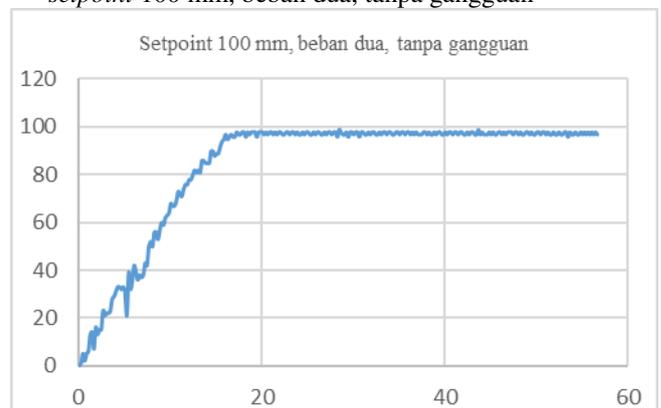
- Pengujian pada system kontrol level air dengan *setpoint* 100 mm, beban satu, tanpa gangguan.



Gambar 12. Grafik Output Plant dengan *setpoint* 100 mm, beban satu, tanpa gangguan

Dari Dari grafik *output plant* yang ditunjukkan dalam Gambar 12 dapat disimpulkan bahwa sistem mengalami *error steady state* 0.08021%, ts selama 12,6 detik.

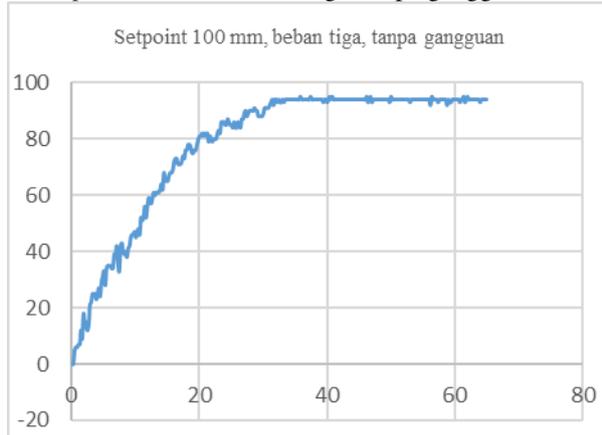
- Pengujian pada system kontrol level air dengan *setpoint* 100 mm, beban dua, tanpa gangguan



Gambar 13. Grafik Output Plant dengan *setpoint* 100 mm, beban dua, tanpa gangguan.

Dari Dari grafik *output plant* yang ditunjukkan dalam Gambar 13 dapat disimpulkan bahwa sistem mengalami *error steady state* 1%, ts selama 16,4 detik.

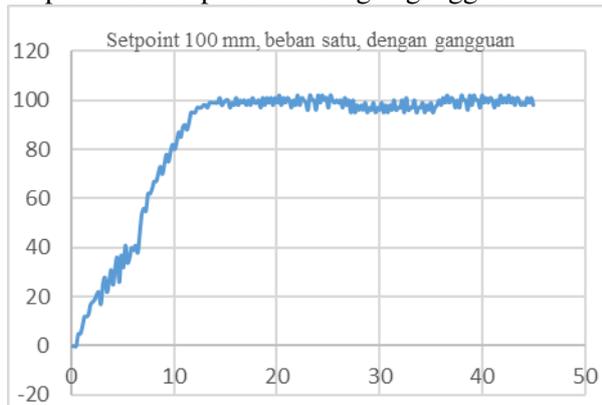
- Pengujian pada system kontrol level air dengan *setpoint* 100 mm, beban tiga, tanpa gangguan



Gambar 14. Grafik *Output Plant* dengan *setpoint* 100 mm, beban tiga, tanpa gangguan

Dari Dari grafik *output plant* yang ditunjukkan dalam Gambar 14 dapat disimpulkan bahwa sistem mengalami *error steady state* 4 %, ts selama 31,6 detik.

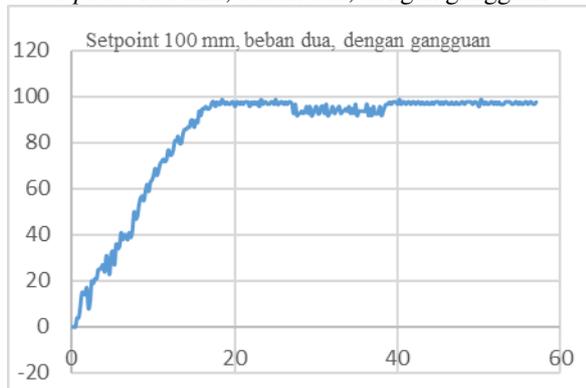
- Pengujian pada sistem kontrol level air dengan *setpoint* 100 tanpa beban dengan gangguan.



Gambar 15. Grafik *Output plant* dengan *setpoint* 100 mm, beban satu, dengan gangguan

Dari grafik respon sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 15 dapat disimpulkan bahwa sistem mengalami *error steady state* 0.115152%, ts selama 12,6 detik.

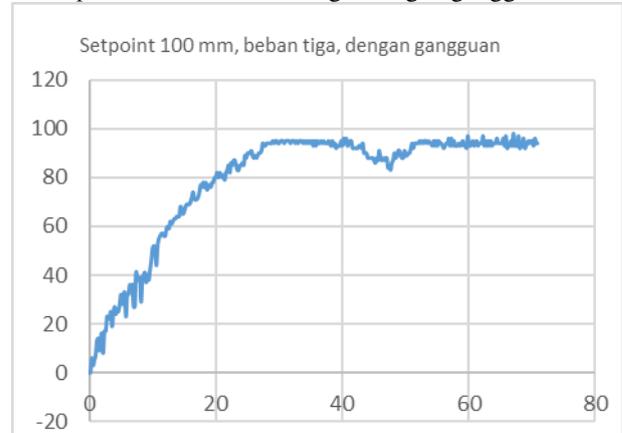
- Pengujian pada system kontrol level air dengan *setpoint* 100 mm, beban dua, dengan gangguan



Gambar 16. Grafik *Output Plant* dengan *setpoint* 100 mm, beban dua, dengan gangguan

Dari Dari grafik *output plant* yang ditunjukkan dalam Gambar 16 dapat disimpulkan bahwa sistem mengalami *error steady state* 1,296117%, ts selama 17,4 detik.

- Pengujian pada system kontrol level air dengan *setpoint* 100 mm, beban tiga, dengan gangguan



Gambar 17. Grafik *Output Plant* dengan *setpoint* 100 mm, beban tiga, dengan gangguan

Dari Dari grafik *output plant* yang ditunjukkan dalam Gambar 17 dapat disimpulkan bahwa sistem mengalami *error steady state* 4.62844%, ts selama 27,6 detik.

E. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan pembuatan sistem kontrol level air dengan menggunakan metode pertama Ziegler-Nicholes didapatkan nilai parameter kontroler PID sebesar $K_p = 23,04$, $K_i = 23,04$, $K_d = 5,76$. Pada *setpoint* 100 mm variasi beban satu, dua dan tiga tanpa gangguan didapatkan *settling time* masing-masing adalah 12,6 detik, 16,4 detik dan 31,6 detik. Pada variasi beban satu, dua dan tiga dengan gangguan didapatkan *settling time* masing-masing 12,6 detik, 17,4 detik, dan 27,6 detik. Sedangkan *error steady state* variasi beban satu, dua dan tiga tanpa gangguan masing-masing adalah 0,08021 %, 1 %, 4 %. Pada variasi beban satu, dua dan tiga dengan gangguan didapatkan masing-masing *error steady state* 0,115152 %, 1,296117 %, 4,62844 %.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan adalah menggunakan kontroler adaptif agar respon kontrol lebih responsif dan performansi sistem lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suryani, R.D. 2013. *Rangkaian Motor DC*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [2] Datasheet Arduino. <https://www.arduino.cc/> (diakses pada 21 Agustus 2015).
- [3] Cytron Technologies Sdn. Bhd. 2013. *Product User's Manual V10 – HCSR04*. Malaysia
- [4] Smith, L. C. 1979. *Fundamentals of Control Theory*. Deskbook Issue.
- [5] Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. Jakarta: Erlangga.