

PENGONTROLAN LEVEL KETINGGIAN AIR PADA TANDON UNTUK GEDUNG BERTINGKAT GUNA PENGHEMATAN PEMAKAIAN DAYA ELEKTRIK

Kemas Muhammad Rizal¹, Ir.Purwanto,M.T.², Ir.Moch. Rusli, Dipl.-Ing.³

¹ Mahasiswa Teknik Elektro Univ. Brawijaya, ^{2,3} Dosen Teknik Elektro Univ. Brawijaya

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

Email : kemas70@gmail.com

Abstrak

Air merupakan sumber daya yang sangat diperlukan makhluk hidup baik untuk memenuhi kebutuhan maupun menopang hidupnya secara alami. Kegunaan air yang bersifat universal atau menyeluruh dari setiap aspek kehidupan menjadi semakin berharganya air baik secara kuantitas maupun kualitas. Dalam pemakaian air sering terjadi pemborosan yang terjadi ditempat-tempat penampungan air seperti tandon air. Seiring dengan perkembangan teknologi, dibuatlah suatu alat penampung air berupa tandon yang pengisianya menggunakan pompa air untuk mengalirkan air yang dilengkapi dengan sistem pengontrolan level ketinggian air pada tandon untuk gedung bertingkat guna penghematan pemakaian daya elektrik. Pengontrolan dilakukan dengan membandingkan penggunaan kontroler PID dan kontroler *on-off* untuk mengetahui seberapa besar penggunaan daya elektrik pada kedua kontroler tersebut.

Pada penggunaan kontroler PID didapatkan nilai parameter $K_p=20.19$, $K_i=43.89$, dan $K_d=2.32$, sehingga dapat mempercepat sistem untuk mencapai keadaan *steadystate* sesuai dengan *setpoint*. Sedangkan pada kontroler *on-off* hanya memiliki dua keadaan yakni batas atas dan batas bawah yang membuat sistem tidak dapat mencapai keadaan *steadystate* sesuai *setpoint*. Dengan menggunakan kedua kontroler tersebut menunjukkan bahwa kontroler PID lebih hemat pada penggunaan pemakaian daya elektrik dibandingkan dengan menggunakan kontroler *on-off*.

Kata Kunci: Tandon air, Level air, Kontroler PID, Kontroler *on-off*, Ziegler Nichols 1.

Abstract

Water is indispensable resource by the living things either for meet the needs or sustains their life naturally. Water utilities which are universal or comprehensive in every aspect of life make increasingly the preciousness of water in quantity and quality. Wastage in water usage are often happens in the places such as water reservoirs and water tanks. In line with the development of technology, they invented a tool in the form of water reservoir which the filling process is using water pumps to drain the water that equipped with the system control of water levels in the reservoir for the storey building in order to saving electrical energy consumption. System controlling is done by comparing the utilization of PID controller and on-off controller to determine how much electrical power used on both of the controller.

By using the PID Controller, the parameter values obtained is $K_p=20.19$, $K_i=43.89$, and $K_d=2.32$, where the value of these parameter is used to speed up the system to achieve a state in accordance with the set point Steady State. Whereas there is only two states in the on-off controller which are the upper limit and the lower limit, causes the system can't reach the state of Steady State that corresponding to the set point. By using both of the controller indicates that the PID controller is more efficient in electrical energy consumption compared to the *on-off* controller.

Keywords: Water reservoir, water level, PID controller, on-off controller, Ziegler Nichols 1.

I. PENDAHULUAN

Air merupakan merupakan sumber daya yang sangat diperlukan makhluk hidup baik untuk memenuhi kebutuhan maupun menopang hidupnya secara alami. Kegunaan air yang bersifat universal atau menyeluruh dari setiap aspek kehidupan menjadi semakin berharganya air baik dilihat dari segi kuantitas maupun kualitasnya. Pemborosan air biasa terjadi pada tempat-tempat penampungan air seperti tandon air. Mengingat pentingnya air dalam kehidupan manusia maka air harus dihemat penggunaannya.

Seiring dengan perkembangan teknologi, dibuatlah suatu alat penampung air berupa tandon yang pengisianya menggunakan pompa air untuk mengalirkan air di dalam tandon. Cukup merepotkan bila kontrol pengisian air di lakukan manual di gedung bertingkat, dalam merancang gedung bertingkat bukan hanya keindahan tampak bangunan saja yang harus di

perhatikan, bangunan juga harus memenuhi persyaratan teknis lainnya, seperti perhitungan daya elektrik pada sistem distribusi suplai air ke dalam tandon menggunakan pompa air di saat adanya pemakaian air di dalam gedung bertingkat, baik secara berkala maupun terus menerus sehingga dapat menghemat pemakaian daya elektrik.

Oleh karena itu pada skripsi ini dibuatlah suatu alat yang membahas tentang pengontrolan level ketinggian air pada tandon untuk gedung bertingkat guna penghematan pemakaian daya elektrik dengan menggunakan kontroler PID dan kontroler *on-off*, dimana sistem dengan menggunakan kontroler PID memiliki kesederhanaan struktur serta kemudahan dalam melakukan tuning parameter kontrolnya dengan menggunakan metode Ziegler Nichols 1. Pada sistem menggunakan kontroler *on-off* hanya bekerja pada dua posisi, yaitu *on* dan *off*. Kerja kontroler *on-off* banyak digunakan pada aksi pengontrolan yang sederhana

¹ Kemas Muhammad Rizal adalah mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya. Malang, Indonesia (No telepon korespondensi penulis 085733835223; email : kemas70@gmail.com)

² Ir.Purwanto, M.T. adalah dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya. Malang, Indonesia

³ Ir. Moch. Rusli, Dipl.-Ing. adalah dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya. Malang, Indonesia

karena harganya yang murah dan sistem kerja yang digunakan adalah *on-off* saja.

Tujuan dari penggunaan kontroler PID dan kontroler *on-off* untuk membandingkan penggunaan pemakaian daya elektrik dengan variasi beban maupun variasi beban menggunakan gangguan dengan besarnya nilai pada katub keluaran air yang sama dengan mengamati respon sistem serta di harapkan mampu mengetahui perbedaan penghematan pemakaian daya elektrik dengan menggunakan kontroler PID dibandingkan dengan kontroler *on-off*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Kontroler Proporsional Integral Differensial

Gabungan aksi kontrol proporsional, integral, dan differensial mempunyai keunggulan yang dapat saling menutupi kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler. Persamaan kontroler PID ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

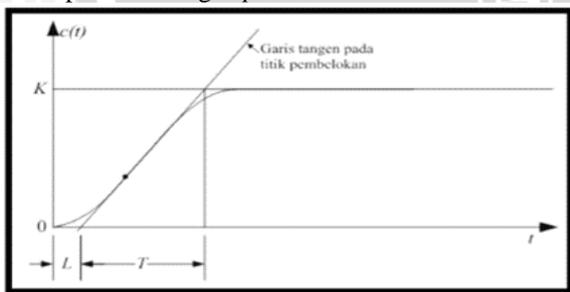
$$m(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \cdot e(t)dt + K_p \cdot T_d \frac{de(t)}{dt} \dots\dots\dots (1)$$

Dalam transformasi laplace dinyatakan sebagai berikut:

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

B. Metode Ziegler-Nichols 1

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 *plant*.



Gambar 1. Kurva Respon yang berbentuk S

Kurva berbentuk S dalam gambar 1 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:

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

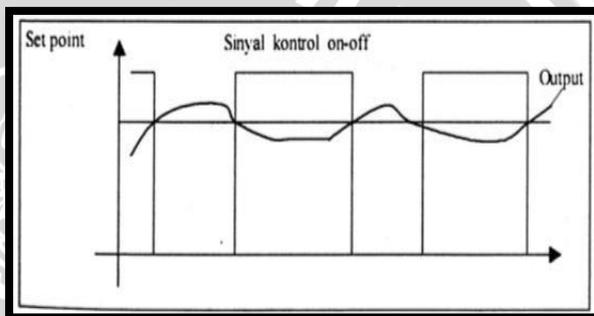
Ziegler dan Nichols menyarankan untuk menentukan nilai-nilai dari K_p , T_i dan T_d berdasarkan pada formula yang ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tipe Kontrol	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0,5 L$

Tabel 2 Rumus Metode Pertama Ziegler-Nichols

C. Kontroler On-Off

Pada sistem kontrol dua posisi, elemen penggerak hanya mempunyai dua posisi yang tetap. Kontroler *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 *negative*. Ilustrasi kontroler *on-off* ditunjukkan pada Gambar 3.



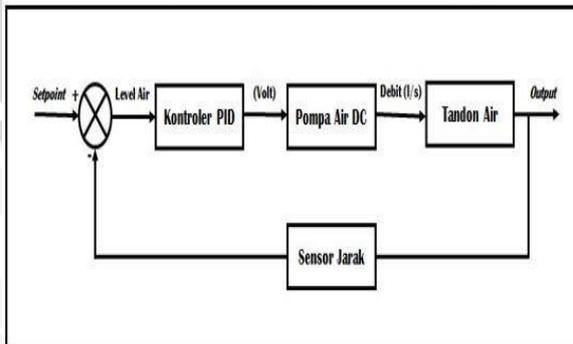
Gambar 3. Ilustrasi dari Kontroler On-Off

Dari Gambar 3 dapat diamati bahwa jika *output* lebih besar dari *setpoint*, aktuatur akan *off*. *Output* akan turun dengan sendirinya sehingga menyentuh *setpoint* lagi. Pada saat itu, sinyal kontrol akan kembali *on* (aktuatur *on*) dan mengembalikan *output* kepada *setpoint*-nya. Demikian seterusnya sinyal kontrol dan aktuatur akan *on-off* terus menerus.

III. METODE PENELITIAN

A. Diagram Blok Sistem

Pada pembuatan perangkat keras diperlukan perancangan blok diagram sistem yang dapat menjelaskan sistem secara garis besar dan diharapkan alat dapat bekerja sesuai dengan rencana.



Gambar 4. Blok Diagram Sistem Loop Tertutup

Keterangan :

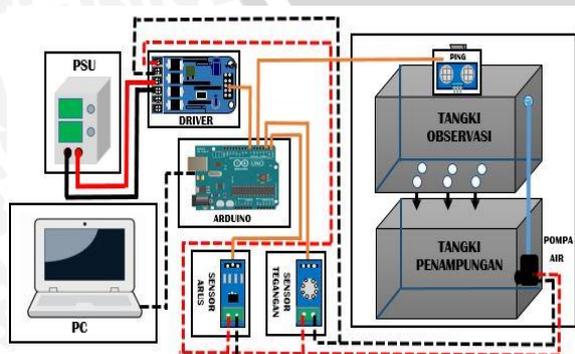
1. *Setpoint* sistem adalah level ketinggian air sebesar 15cm dan debit air yang dihasilkan oleh karakteristik pompa air DC 12V sebesar 4.56 liter/menit.
2. Tandon dilengkapi dengan 1 katub keluaran air terbuka dan 6 katub keluaran air (buka tutup) dibawah tangki sebagai gangguan pada pemakaian air di dalam gedung bertingkat yang digunakan untuk variasi nilai katub keluaran air atau beban.
3. Pusat pengendalian sistem adalah Arduino Mega 2560 yang memberikan sinyal PWM pada pompa melalui driver EMS H-Bridge 5A.
4. Aktuator menggunakan satu motor pompa air DC 12V yang berfungsi untuk mengalirkan air ke pipa menuju tandon penyimpanan yang mendapat sinyal masukan dari *output* PWM driver EMS H-Bridge 5A.
5. Sensor jarak menggunakan ping ultrasonik yang berfungsi sebagai *feedback* (umpan balik) agar level ketinggian air sesuai dengan setpoint yang diinginkan dengan jarak rentang 0-15 cm.
6. Kontroler yang digunakan adalah Kontrol PID dengan menggunakan Mega 2560 untuk mendapatkan parameter kontroler digunakan metode *Ziegler-nichols 1*.

B. Pembuatan Perangkat Keras

Pembuatan perangkat keras dilakukan sebagai langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem beserta pemrogramannya, hal ini dimaksudkan agar sistem pengontrolan level ketinggian air dapat diketahui penggunaan pemakaian daya elektrik seperti apa yang telah direncanakan.

Pembuatan perangkat keras yang dilakukan meliputi:

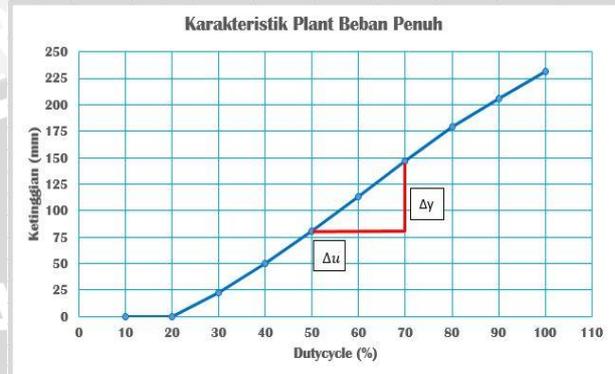
1. Skema pembuatan perangkat keras.
2. Penentuan modul elektronik yang digunakan:
 - Komputer atau PC
 - *Power Supply Unit* (PSU)
 - Mikrokontroler Arduino Mega 2560.
 - Driver motor EMS H-Bridge 5A.
 - Sensor arus ACS 712 5A.
 - Sensor tegangan.
 - Motor pompa air DC 12V.
 - Tandon air.



Gambar 5. Skema pembuatan perangkat keras (Sumber: Perancangan)

C. Pengujian *Steady State Gain* pada *Plant*

Steady state gain pada *plant* untuk menemukan fungsi alih *plant* dan mendapatkan karakteristik statis *gain* keadaan mantap dengan cara *plant* di rancang secara *open loop* dan diberikan unit step masukan *dutycycle* 0%–100% dan di lihat pada Gambar 6 bagaimana respon keadaan mantapnya.



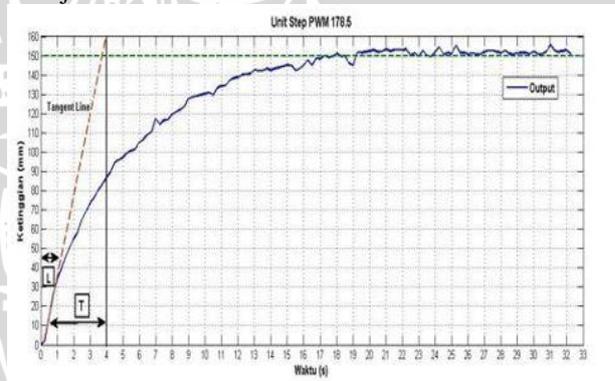
Gambar 6. Grafik Karakteristik statis *gain* keadaan mantap

Dari grafik diatas, dapat disimpulkan bahwa nilai *steady state gain* pada *plan* sebesar:

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{146.8 - 81}{70 - 50} = 3.29$$

D. Perancangan Kontroler PID

Berikut kurva hasil perancangan kontroler PID menggunakan metode *Ziegler-Nichols 1*, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 7.



Gambar 7. Karakteristik Open Loop Respon PWM 178.5 (Sumber: Perancangan)

Dari grafik *output plan* pada Gambar 7 didapatkan nilai:

$$L = 0.23 \text{ s}$$

$$T = 3.87 \text{ s}$$

Setelah mendapatkan parameter yang dibutuhkan maka bisa didapatkan fungsi alih *plant* seperti yang ditunjukkan dalam persamaan.

$$G(s) = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts + 1} = \frac{2.19e^{-0.23s}}{3.87s + 1}$$

Dan diperoleh nilai K_p , K_i , K_d :

$$K_p = 1.2 \times \frac{T}{L} = 1.2 \times \frac{3.87}{0.23} = 20.19$$

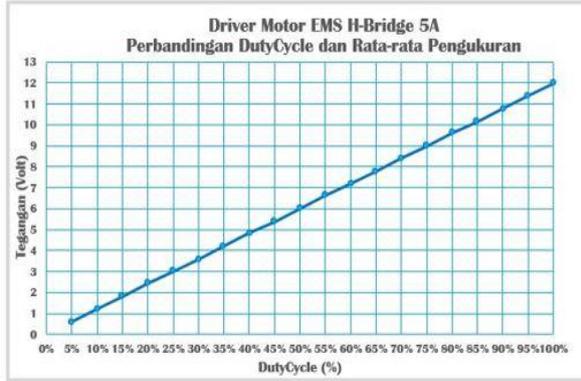
$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{20.19}{2 \times L} = \frac{20.19}{0.46} = 43.89$$

$$K_d = K_p \times T_d = 20.19 \times (0.5 \times L) = 20.19 \times 0.115 = 2.32$$

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

A. Karakteristik Driver Motor

Pengujian ini bertujuan untuk Mengetahui kinerja dan respon rangkaian modul driver motor EMS H-Bridge 5A dengan membandingkan *output* tegangan efektif driver dengan masukan *dutycycle* sinyal PWM yang diberikan oleh Arduino Mega 2560.



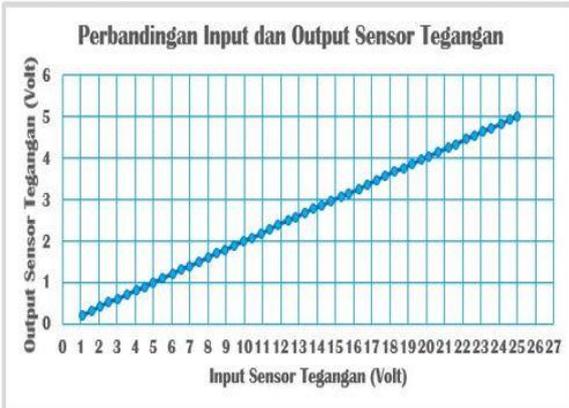
Gambar 8. Grafik perubahan tegangan *output* driver motor EMS H-Bridge 5A terhadap *input* *dutycycle*.

Sesuai dengan hasil grafik pada Gambar 8 dapat disimpulkan bahwa modul *driver* motor memiliki *gain* sebesar:

$$m = \frac{V_{out_{13}} - V_{out_9}}{V_{m_{13}} - V_{m_9}} = \frac{7.213 - 4.816}{60 - 40} = 0.11$$

B. Karakteristik Sensor Tegangan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik kinerja sensor tegangan dengan membandingkan *input* sebesar 0–12V yang dibaca oleh sensor tegangan terhadap *output* sebesar 0-5V yang diberikan oleh Arduino Mega 2560, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik perubahan tegangan *output* pada sensor tegangan.

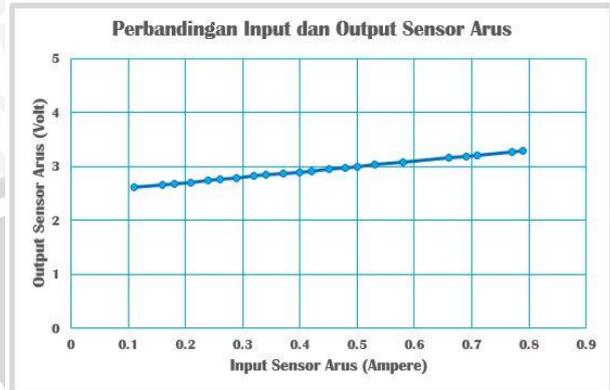
Sesuai dengan hasil grafik pada Gambar 9 dapat disimpulkan bahwa modul *driver* sensor tegangan memiliki *gain* sebesar:

$$m = \frac{V_{out_{13}} - V_{out_9}}{V_{m_{13}} - V_{m_9}} = \frac{1.3 - 0.9}{6.5 - 4.5} = 0.2$$

C. Karakteristik Sensor Arus ACS

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah sensor arus yang dirancang dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan dengan cara membandingkan *input* berupa arus saat diberi beban berupa motor

pompa air DC 12V dengan *output* sensor arus dihubungkan dengan rangkaian penguat agar dapat dibaca oleh mikrokontroler arduino mega 2560 dengan rentang 0-5V.



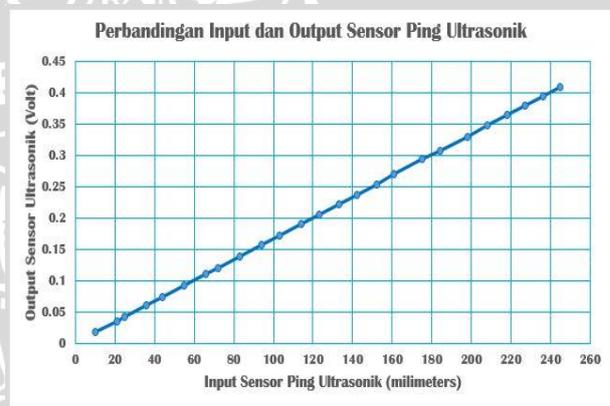
Gambar 10. Grafik perubahan tegangan *output* pada sensor arus.

Sesuai dengan hasil grafik pada Gambar 9 dapat disimpulkan bahwa modul sensor arus memiliki *gain* sebesar:

$$m = \frac{V_{out_{13}} - V_{out_9}}{V_{in_{13}} - V_{in_9}} = \frac{2.92 - 2.82}{0.42 - 0.32} = 0.625$$

D. Karakteristik Sensor Ping Ultrasonik

Mengetahui kemampuan sensor jarak ping ultrasonik dalam membaca perubahan jarak *input* sebesar 0-300 centimeters menjadi *output* berupa tegangan yang dibaca oleh arduino mega 2560 sebesar 0-5V.



Gambar 11. Grafik perubahan *output* pada sensor ping ultrasonik.

Sesuai dengan hasil grafik pada Gambar 9 dapat disimpulkan bahwa modul sensor ping ultrasonik memiliki *gain* sebesar:

$$m = \frac{V_{out_{13}} - V_{out_{11}}}{V_{in_{13}} - V_{in_{11}}} = \frac{0.19 - 0.156}{114 - 94} = 1.7 \times 10^{-3}$$

E. Karakteristik Pompa Air DC

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan pompa air DC 12V, dengan memberikan nilai *input* berupa *dutycycle* sebesar 25%-100% menjadi *output* berupa debit (l/s) dengan membandingkan volume yang terukur sebesar 1000 ml dengan waktu (*sekon*) yang dibutuhkan selama pengisian volume air.



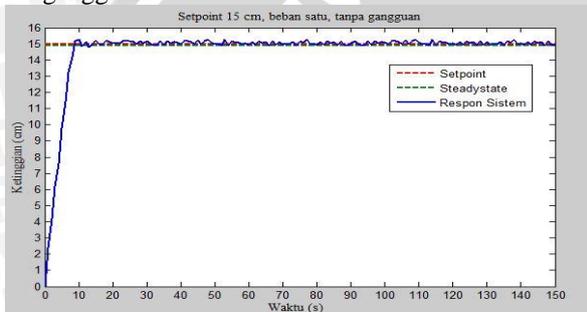
Gambar 12. Grafik perubahan *output* terhadap *dutycycle*.

Pada gambar grafik 12 menunjukkan perbandingan *output* berupa debit (l/s) terhadap *input* berupa *dutycycle*.

F. Pengujian Kontroler PID

Pengujian sistem dengan menggunakan kontroler PID dilakukan untuk mengetahui respon sistem serta penggunaan pemakaian daya elektrik dengan variasi beban maupun variasi beban dengan gangguan.

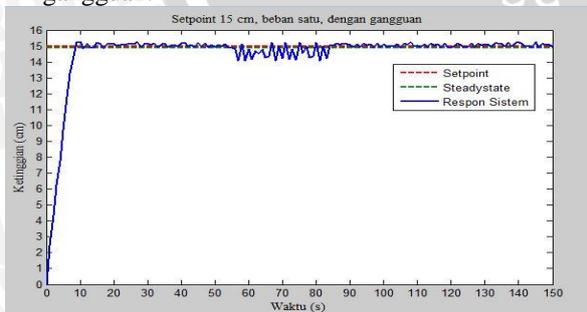
- Pengujian pada *setpoint* 15 cm, beban satu, tanpa gangguan.



Gambar 13. Grafik respon sistem *setpoint* 15 cm, beban satu, tanpa gangguan.

Pada grafik respon sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 13 dapat disimpulkan bahwa pemakaian daya elektrik sebesar 0.861 Watt dengan waktu keadaan mantap (*ts*) selama 14 detik, *error steady state* 0.467 %, waktu naik (*tr*) selama 9 detik, waktu tunda (*td*) selama 3 detik, waktu puncak (*tp*) selama 10 detik dan maksimum *overshoot* (*Mp*) 1.7333 %.

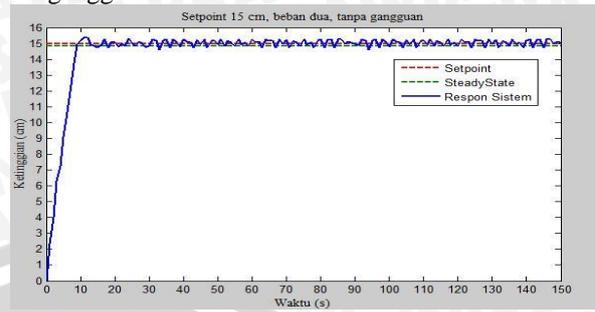
- Pengujian pada *setpoint* 15 cm, beban satu, dengan gangguan.



Gambar 14. Grafik respon sistem *setpoint* 15 cm, beban satu, dengan gangguan.

Pada grafik respon sistem seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 14 dengan adanya gangguan selama 28 detik dapat disimpulkan bahwa pemakaian energi elektrik sebesar 1.35 Watt dengan waktu keadaan mantap (*ts*) selama 15 detik, *error steady state* 0.534 % dan maksimum *overshoot* (*Mp*) 1.866 %.

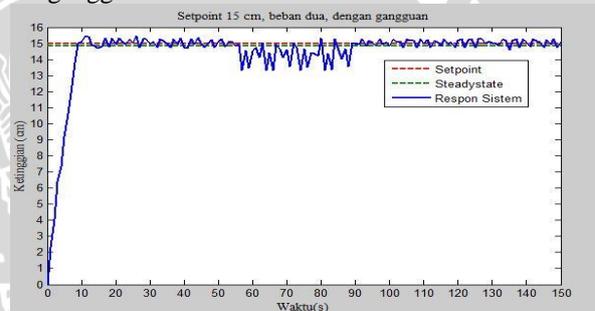
- Pengujian pada *setpoint* 15cm, beban dua, tanpa gangguan.



Gambar 15. Grafik respon sistem *setpoint* 15 cm, beban dua, tanpa gangguan.

Pada grafik respon sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 15 dapat disimpulkan bahwa pemakaian daya elektrik sebesar 1.365 Watt dengan waktu keadaan mantap (*ts*) selama 18 detik, *error steady state* 0.9 %, waktu naik (*tr*) selama 10 detik, waktu tunda (*td*) selama 4 detik, waktu puncak (*tp*) selama 12 detik dan maksimum *overshoot* (*Mp*) 2.467 %.

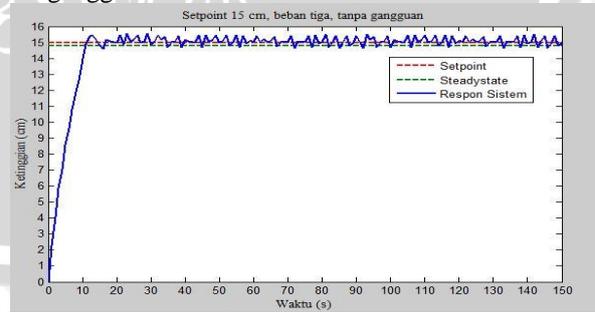
- Pengujian pada *setpoint* 15cm, beban dua, dengan gangguan.



Gambar 16. Grafik *output* respon sistem *setpoint* 15 cm, beban dua, dengan gangguan.

Pada grafik respon sistem seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 16 dengan adanya gangguan selama 33 detik dapat disimpulkan bahwa pemakaian energi elektrik sebesar 1.927 Watt dengan waktu keadaan mantap (*ts*) selama 19 detik, *error steady state* 1 % dan maksimum *overshoot* (*Mp*) 2.6 %.

- Pengujian pada *setpoint* 15cm, beban tiga, tanpa gangguan.

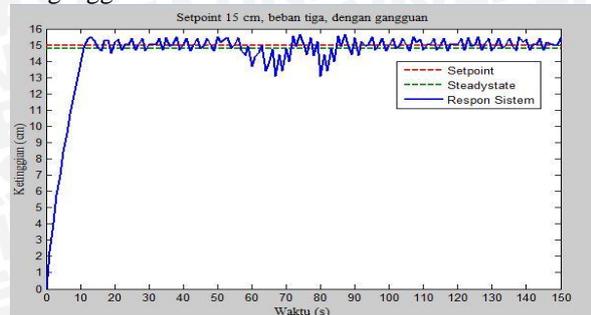


Gambar 17. Grafik *output* respon sistem *setpoint* 15 cm, beban tiga, tanpa gangguan.

Pada grafik respon sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 17 dapat disimpulkan bahwa pemakaian daya elektrik sebesar 2.985 Watt dengan waktu keadaan mantap (*ts*) selama 20 detik, *error steady state* 1.167 %, waktu naik (*tr*) selama 12 detik, waktu tunda (*td*)

selama 5 detik, waktu puncak (t_p) selama 13 detik dan maksimum overshoot (M_p) 3.133 %.

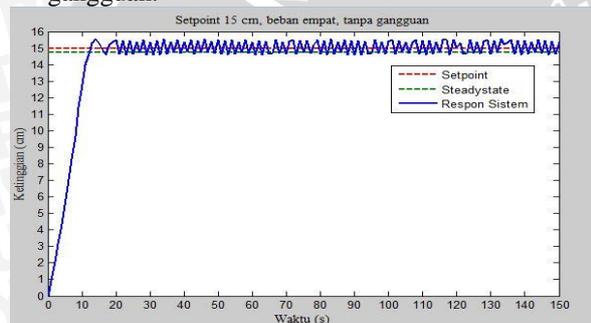
- Pengujian pada *setpoint* 15cm, beban tiga, dengan gangguan.



Gambar 18. Grafik respon sistem *setpoint* 15 cm, beban tiga, dengan gangguan.

Pada grafik respon sistem seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 18 dengan adanya gangguan selama 30 detik dapat disimpulkan bahwa pemakaian energi elektrik sebesar 3.277 Watt dengan waktu keadaan mantap (t_s) selama 21 detik, *error steady state* 1.3 % dan maksimum overshoot (M_p) 3.266 %.

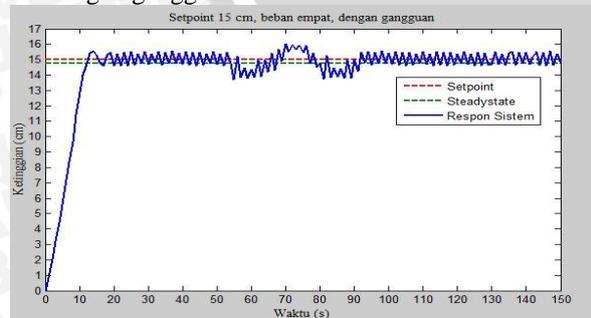
- Pengujian pada *setpoint* 15cm, beban empat, tanpa gangguan.



Gambar 19. Grafik respon sistem *setpoint* 15 cm, beban empat, tanpa gangguan.

Pada grafik respon sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 19 dapat disimpulkan bahwa pemakaian daya elektrik sebesar 3.468 Watt dengan waktu keadaan mantap (t_s) selama 23 detik, *error steady state* 1.4 %, waktu naik (t_r) selama 13 detik, waktu tunda (t_d) selama 6 detik, waktu puncak (t_p) selama 14 detik dan maksimum overshoot (M_p) 3.533 %.

- Pengujian pada *setpoint* 15cm, beban empat, dengan gangguan.

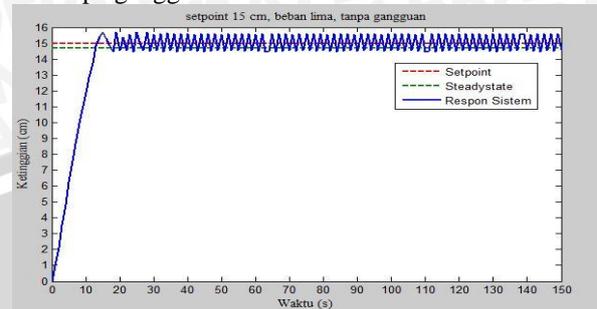


Gambar 20. Grafik respon sistem *setpoint* 15 cm, beban empat, dengan gangguan.

Pada grafik respon sistem seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 20 dengan adanya gangguan selama 38 detik dapat disimpulkan bahwa pemakaian energi

elektrik sebesar 3.695 Watt dengan waktu keadaan mantap (t_s) selama 24 detik, *error steady state* 1.6 % dan maksimum overshoot (M_p) 3.66 %.

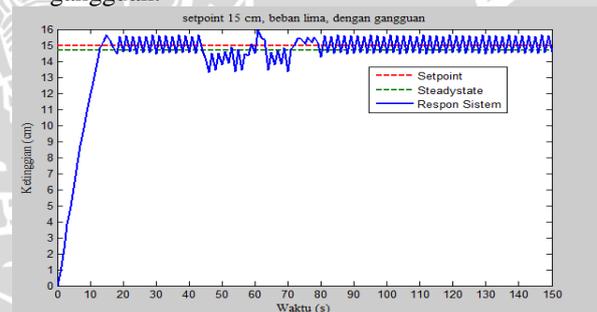
- Pengujian pada *setpoint* 15cm, beban lima, tanpa gangguan.



Gambar 21. Grafik respon sistem *setpoint* 15 cm, beban lima, tanpa gangguan.

Pada grafik respon sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 21 dapat disimpulkan bahwa pemakaian daya elektrik sebesar 4.124 Watt dengan waktu keadaan mantap (t_s) selama 26 detik, *error steady state* 1.8 %, waktu naik (t_r) selama 14 detik, waktu tunda (t_d) selama 7 detik, waktu puncak (t_p) selama 15 detik dan maksimum overshoot (M_p) 4.3 %.

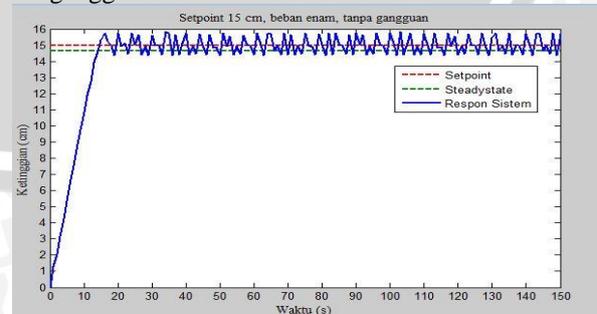
- Pengujian pada *setpoint* 15cm, beban lima, dengan gangguan.



Gambar 22. Grafik respon sistem *setpoint* 15 cm, beban lima, dengan gangguan.

Pada grafik respon sistem seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 22 dengan adanya gangguan selama 36 detik dapat disimpulkan bahwa pemakaian energi elektrik sebesar 3.675 Watt dengan waktu keadaan mantap (t_s) selama 27 detik, *error steady state* 1.8 % dan maksimum overshoot (M_p) 4.46 %.

- Pengujian pada *setpoint* 15cm, beban enam, tanpa gangguan.

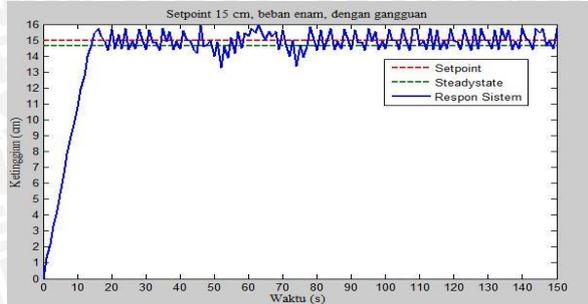


Gambar 23. Grafik respon sistem *setpoint* 15 cm, beban lima, dengan gangguan.

Pada grafik respon sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 23 dapat disimpulkan bahwa pemakaian daya elektrik sebesar 4.891 Watt dengan waktu keadaan

mantap (t_s) selama 28 detik, $error\ steady\ state$ 2.06 %, waktu naik (t_r) selama 15 detik, waktu tunda (t_d) selama 8 detik, waktu puncak (t_p) selama 16 detik dan maksimum $overshoot$ (M_p) 4.867 %.

- Pengujian pada $setpoint$ 15cm, beban enam, dengan gangguan.



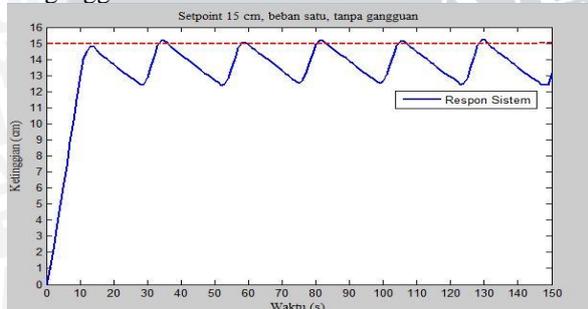
Gambar 24. Grafik respon sistem $setpoint$ 15 cm, beban enam, dengan gangguan.

Pada grafik respon sistem seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 24 dengan adanya gangguan selama 31 detik dapat disimpulkan bahwa pemakaian energi elektrik sebesar 4.373 Watt dengan waktu keadaan mantap (t_s) selama 30 detik, $error\ steady\ state$ 2.2% dan maksimum $overshoot$ (M_p) 5%.

G. Pengujian Kontroler On-Off

Pengujian sistem dengan menggunakan kontroler On-Off ini dilakukan untuk mengetahui respon sistem serta penggunaan pemakaian daya elektrik dengan variasi beban maupun variasi beban dengan gangguan.

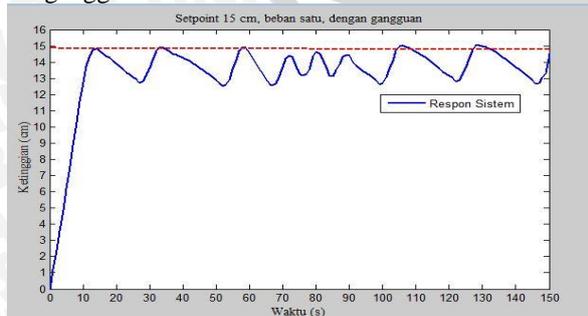
- Pengujian pada $setpoint$ 15cm, beban enam, tanpa gangguan.



Gambar 25. Grafik respon sistem $setpoint$ 15 cm, beban satu, tanpa gangguan.

Pada grafik respon sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 25 dapat disimpulkan bahwa penggunaan pemakaian daya elektrik sebesar 1.335 Watt.

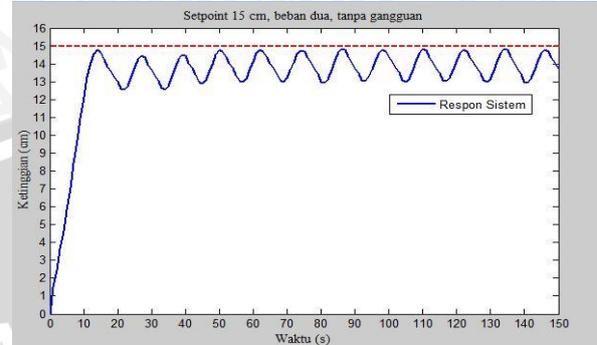
- Pengujian pada $setpoint$ 15cm, beban enam, tanpa gangguan.



Gambar 26. Grafik respon sistem $setpoint$ 15 cm, beban satu, dengan gangguan.

Pada grafik respon sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 26 dapat disimpulkan bahwa pada saat diberi gangguan selama 41 detik maka diketahui penggunaan pemakaian daya elektrik sebesar 1.859 Watt.

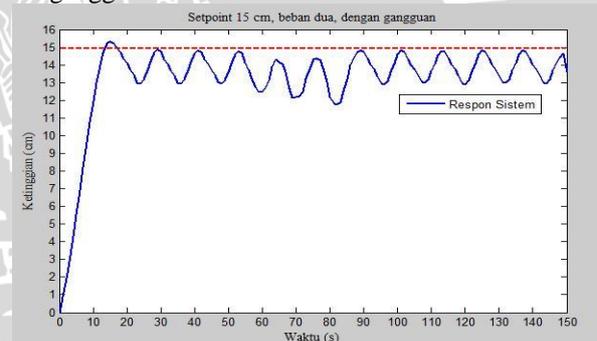
- Pengujian pada $setpoint$ 15cm, beban dua, tanpa gangguan.



Gambar 27. Grafik respon sistem $setpoint$ 15 cm, beban dua, tanpa gangguan.

Pada grafik respon sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 27 dapat disimpulkan bahwa penggunaan pemakaian daya elektrik sebesar 2.193 Watt.

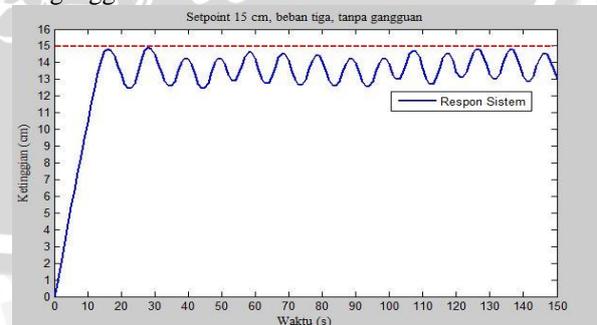
- Pengujian pada $setpoint$ 15cm, beban dua, dengan gangguan.



Gambar 28. Grafik respon sistem $setpoint$ 15 cm, beban dua, dengan gangguan.

Pada grafik respon sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 28 dapat disimpulkan bahwa pada saat diberi gangguan selama 23 detik maka diketahui penggunaan pemakaian daya elektrik sebesar 2.71 Watt.

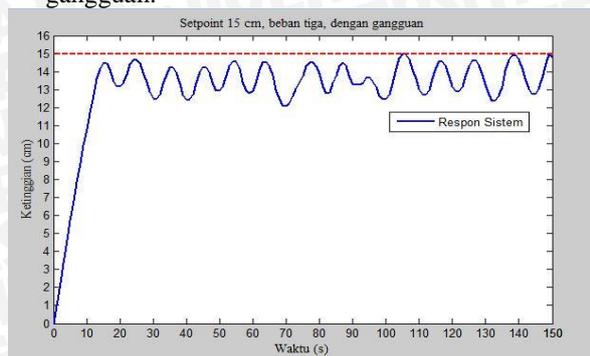
- Pengujian pada $setpoint$ 15cm, beban tiga, tanpa gangguan.



Gambar 29. Grafik respon sistem $setpoint$ 15 cm, beban tiga, tanpa gangguan.

Pada grafik respon sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 29 dapat disimpulkan bahwa penggunaan pemakaian daya elektrik sebesar 3.29 Watt.

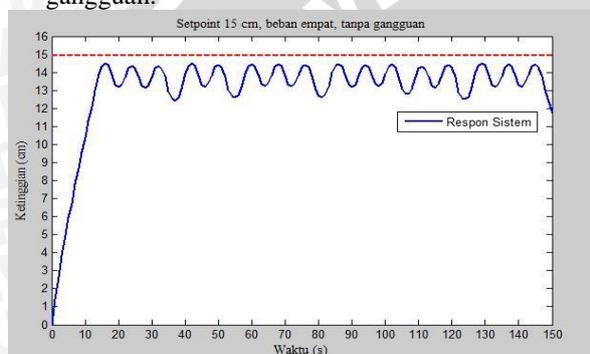
- Pengujian pada *setpoint* 15cm, beban tiga, dengan gangguan.



Gambar 30. Grafik respon sistem *setpoint* 15 cm, beban tiga, dengan gangguan.

Pada grafik respon sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 30 dapat disimpulkan bahwa pada saat diberi gangguan selama 35 detik maka diketahui penggunaan pemakaian daya elektrik sebesar 3.48 Watt.

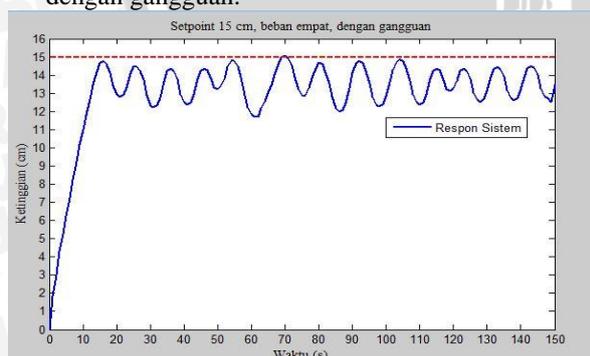
- Pengujian pada *setpoint* 15cm, beban empat, tanpa gangguan.



Gambar 31. Grafik respon sistem *setpoint* 15 cm, beban tiga, dengan gangguan.

Pada grafik respon sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 31 dapat disimpulkan bahwa penggunaan pemakaian daya elektrik sebesar 3.816 Watt.

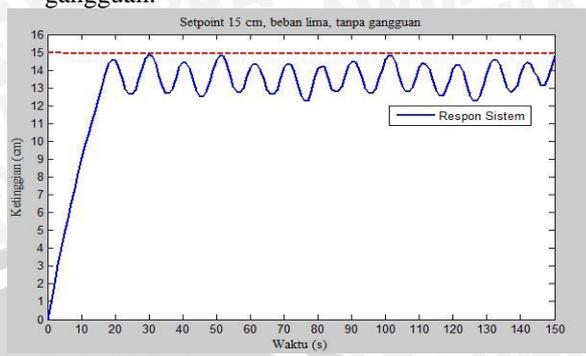
- Pengujian pada *setpoint* 15cm, beban empat, dengan gangguan.



Gambar 32. Grafik respon sistem *setpoint* 15 cm, beban empat, dengan gangguan.

Pada grafik respon sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 32 dapat disimpulkan bahwa pada saat diberi gangguan selama 37 detik maka diketahui penggunaan pemakaian daya elektrik sebesar 3.909 Watt.

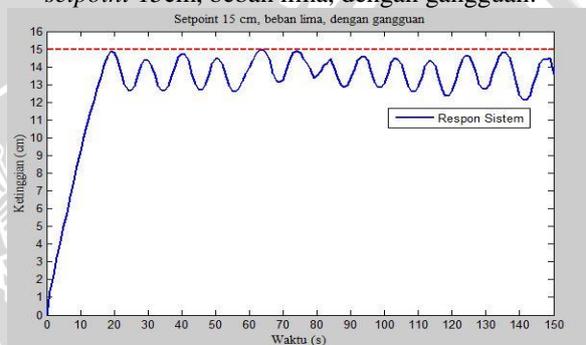
- Pengujian pada *setpoint* 15cm, beban lima, tanpa gangguan.



Gambar 33 Grafik respon sistem *setpoint* 15 cm, beban lima, dengan gangguan.

Pada grafik respon sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 33 dapat disimpulkan bahwa penggunaan pemakaian daya elektrik sebesar 4.72 Watt.

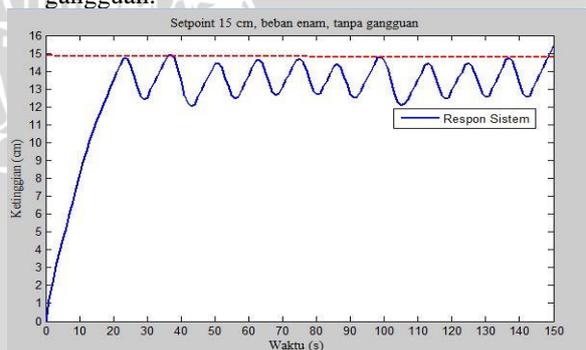
- Pengujian pada sistem kontrol level air pada *setpoint* 15cm, beban lima, dengan gangguan.



Gambar 34 Grafik respon sistem *setpoint* 15 cm, beban lima, dengan gangguan.

Pada grafik respon sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 34 dapat disimpulkan bahwa pada saat diberi gangguan selama 32 detik maka diketahui penggunaan pemakaian daya elektrik sebesar 4.529 Watt.

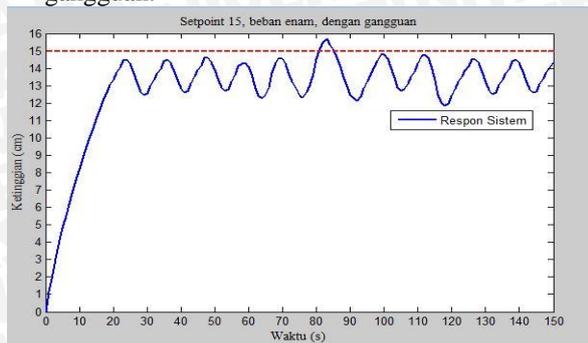
- Pengujian pada *setpoint* 15cm, beban enam, tanpa gangguan.



Gambar 35 Grafik respon sistem *setpoint* 15 cm, beban enam, enam gangguan.

Pada grafik respon sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 35 dapat disimpulkan bahwa penggunaan pemakaian daya elektrik sebesar 5.626 Watt.

- Pengujian pada *setpoint* 15cm, beban enam, dengan gangguan.

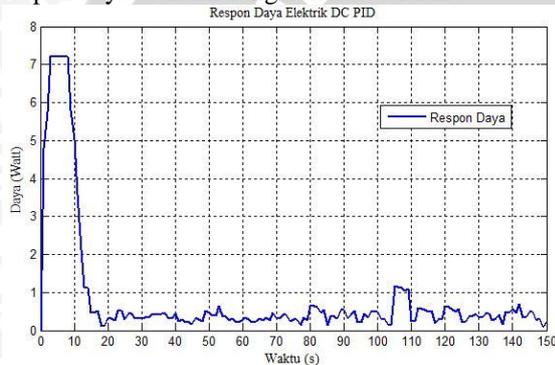


Gambar 36 Grafik respon sistem *setpoint* 15 cm, beban lima, dengan gangguan.

Pada grafik respon sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 4.24 dapat disimpulkan bahwa pada saat diberi gangguan selama 39 detik maka diketahui penggunaan pemakaian daya elektrik sebesar 5.006 Watt.

H. Respon Daya Elektrik dengan Kontroler PID

Berikut merupakan salah-satu hasil pengujian respon daya elektrik dengan kontroler PID.



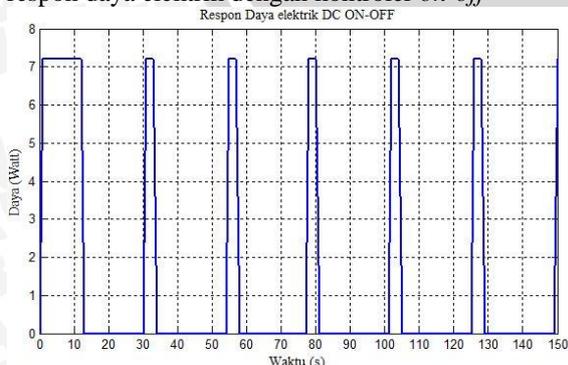
Gambar 37 Grafik respon daya elektrik dengan kontroler PID

Pada grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 37 dapat disimpulkan, bahwa respon daya dengan kontroler PID dapat menyesuaikan tingkat level ketinggian air di dalam tandon.

I. Respon Daya Elektrik dengan Kontroler On-Off

On-Off

Berikut merupakan salah-satu hasil pengujian respon daya elektrik dengan kontroler *on-off*



Gambar 38 Grafik respon daya elektrik dengan kontroler *on-off*

Pada Gambar 38 grafik respon dengan kontroler *on-off* dapat disimpulkan, setiap kurang dari batas atas dan lebih dari batas bawah ($15 \text{ cm} \leq \text{ketinggian} \geq 12.5 \text{ cm}$)

pengisian air membutuhkan daya maksimal agar level ketinggian air di dalam tandon cepat mencapai batas atas berupa *setpoint* sebesar 15 cm, setelah mencapai batas atas maka level ketinggian air akan turun mencapai batas bawah sebesar 12.5 cm dengan daya minimal yaitu 0 watt dan akan melakukan pengisian air kembali dengan daya maksimal seperti langkah sebelumnya.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pada penggunaan kontroler PID didapatkan nilai parameter $K_p= 20.19$, $K_i=43.89$, $K_d=2.32$, sehingga dapat mempercepat sistem untuk mencapai keadaan *steadystate* sesuai dengan *setpoint*. Sedangkan pada kontroler *on-off* hanya memiliki dua keadaan yakni batas atas dan batas bawah yang membuat sistem tidak dapat mencapai keadaan *steadystate* sesuai *setpoint*.
2. Pada perhitungan pemakaian daya elektrik diketahui bahwa penggunaan kontroler PID lebih hemat dibandingkan dengan kontroler *on-off* baik menggunakan variasi beban maupun variasi beban dengan gangguan.

B. Saran

Dalam penelitian yang saya lakukan ini hanya berupa Tegangan dan Arus DC sehingga menghasilkan pemakaian daya elektrik DC, maka saran yang dapat saya berikan untuk penelitian selanjutnya adalah dengan mengembangkan penelitian saya menggunakan penerapan Tegangan dan Arus AC sehingga didapatkan penerapan daya secara nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sugeng, Yusril. 2015. *Sistem Kendali Air Bersih Pada Gedung Bertingkat*, Jurnal, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elketro Universitas Islam 45 Bekasi.
- [2] Thiang, Yohanes TDS, Andre Mulya. 2005. *Pengaturan Level Ketinggian Air Menggunakan Kontrol PID*, Jurnal, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra Surabaya.
- [3] Ogata, K. 1997. *Teknik Kontrol Automatik Jilid 2*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [4] Prasetyo Joko. 2016. *Uji Performansi Pada Sistem Kontrol Level Air Dengan Variasi Beban Menggunakan Kontroler PID*. Malang: Skripsi Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang.
- [5] Simamora Kristianingsih. 2015. *Desain Kendali PID Pada Plant Debit Air Dengan Metode Ziegler-Nichols dan Cohen-Coon Menggunakan Matlab dan Arduino*. Bandung: Laporan Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri.
- [6] Jufri Hilman 2012. *Rancang Bangun Alat Ukur Daya Arus Bolak-Balik Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535*, Jurnal, Fakultas Mipa, Jurusan Fisika, Universitas Sumatera Utara.



