

## PENGEMBANGAN KONTROL PI DENGAN MODIFIKASI ANTI WINDUP PADA SISTEM RUMAH TERMAL BERBASIS MIKROKONTROLER

### DEVELOPMENT OF PI CONTROL USING ANTI WINDUP MODIFICATION ON THERMAL HOME SYSTEM BASED ON MICROCONTROLLER

Reksa Putra<sup>1</sup>, Reza Fauzi Iskandar<sup>1</sup>, Asep Suhendi<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Telkom University

<sup>1</sup>reksa.ck@gmail.com, rezafauzii@gmail.com

<sup>2</sup>as.suhendi@gmail.com

---

#### Abstrak

Proportional Integral Derivative (PID) telah banyak digunakan di industri dikarenakan kesederhanaan dan kehandalannya. Ragam aplikasi kontrol menggunakan PID telah banyak diterima di industri yang telah ada. Salah satu penerapan teknik pengontrolan dengan PID ialah mengontrol suhu dan mempertahankannya. Saat merancang sistem kontrol sebaiknya memperhatikan daerah aktif dan daerah saturasi dari aktuator. Saturasi aktuator dapat menjadi masalah yang menyebabkan penurunan kinerja dan stabilitas sistem kontrol. Terutama, jika sistem pengontrolan berisi integrator, seperti kontrol PI dan kontrol PID ketika saturasi aktuator terjadi dan variable process (PV) belum mencapai setpoint (SP), maka pengontrolan akan terus mengintegrasikan selisih dari PV dan SP yang akan menghasilkan overshoot yang besar dan waktu settling time bertambah lama. Fenomena ini dikenal dengan nama integral windup. Dalam penelitian tugas akhir ini penulis membandingkan pengontrolan PI dengan modifikasi *anti-windup* dan pengontrolan PI konvensional. *Anti-windup* diterapkan untuk mereduksi efek dari integral windup. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa dengan menerapkan modifikasi *anti-windup* dapat memperbaiki respon sistem dengan tiga setpoint, saat setpoint 30 °C menghasilkan perbaikan nilai overshoot dari 7.6% menjadi 6%. Dan saat setpoint 35°C menghasilkan perbaikan nilai overshoot dari 12.45% menjadi 4.34%. Dan saat setpoint 40°C menghasilkan perbaikan nilai overshoot dari 7.25% menjadi 3.1%.

**Kata Kunci :** *PI, Integral windup, anti windup*

---

#### Abstract

*The Proportional Integral Derivative (PID) has been widely used in the industry due to its simplicity and reliability. The variety of application controls using PID has been widely accepted in existing industries. One application of the control technique with PID is to control the temperature and maintain it. When designing a control system you should pay attention to the active area and saturation area of the actuator. Saturation of the actuator can be a problem that causes a decrease in the performance and stability of the control system. Especially, if the control system contains integrators, such as PI control and PID control when saturation of the actuator occurs and the variable process (PV) has not reached the setpoint (SP), then the control will continue to integrate the difference between PV and SP which will result in a large overshoot and settling time increases. This phenomenon is known as integral windup. In this final project, the writer compares the control of PI with anti-windup modification and conventional PI control. Anti-windup is applied to reduce the effects of the integral windup. From the results of the study, it was found that by applying anti-windup modification it could improve the system response with three set points when the setpoint is 30 ° C the resulted in an improvement in the overshoot value from 7.6% to 6%. And when the setpoint is 35 ° C the resulted in an improvement in the overshoot value from 12.45% to 4.34%. And when the setpoint is 40 ° C resulted in an improvement in the overshoot value from 7.25% to 3.1%*

**Keywords :** *PI, Integral windup, anti windup*

---

## 1. Pendahuluan

Proportional Integral Derivative (PID) telah banyak digunakan di industri dikarenakan kesederhanaan dan kehandalannya. PID memiliki 3 koefisien yakni, proportional, integral, dan derivative koefisien[1]. Dengan memberikan nilai yang tepat pada koefisien ini, maka fungsi pengontrolan yang diinginkan dari PID kontrol akan tercapai[2][3]. Ragam aplikasi kontrol menggunakan PID telah banyak diterima di industri yang telah ada[4][5].

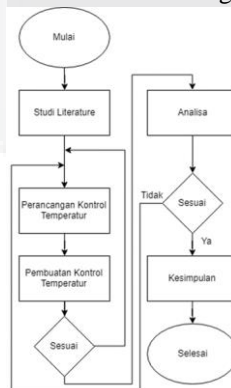
Salah satu penerapan teknik pengontrolan dengan PID ialah mengontrol termal dan mempertahankannya di suhu yang ditetapkan[6]. Kontrol suhu yang akurat telah menjadi kebutuhan di berbagai domain seperti rumah, industri atau sekolah dimana suhu dipertahankan untuk menjaga lingkungan tetap nyaman bagi penghuninya. Dalam merancang sistem kontrol sebaiknya memperhatikan aktuator yang sering dianggap ideal. Pada kenyataannya aktuator yang melaksanakan keluaran dari sistem kontrol memiliki batasan fisik yang harus diperhatikan. Karena memiliki batasan maka area kerja aktuator dapat dibagi menjadi dua area kerja yakni, daerah aktif dan saturasi. Saturasi aktuator dapat menjadi masalah tersendiri yang menyebabkan penurunan kinerja dan stabilitas sistem kontrol. Terutama, jika sistem pengontrolan berisi integrator, seperti kontrol PI dan kontrol PID ketika saturasi aktuator terjadi dan variable process (PV) belum mencapai setpoint (SP), maka pengontrolan akan terus mengintegrasikan selisih dari PV dan SP yang akan menghasilkan overshoot besar yang tidak diinginkan dan waktu settling time yang lama. Persistiwa ini dikenal dengan fenomena integral windup[7][8].

Untuk mengatasi masalah tersebut maka perlu pengembangan dari kontrol yang telah ada dengan menambakan *anti-windup*. Karena sistem PI dan PID banyak digunakan dalam proses industri, banyak strategi *anti-windup* diusulkan untuk memecahkan masalah integral windup seperti pada [9][10][11]. *Anti-windup* akan memperkecil nilai overshoot yang dihasilkan oleh integral windup. Dalam hal ini, penulis melakukan perancangan kontrol termal dengan modifikasi PI dan diterapkan dalam model ruangan termal yang berukuran 20cm x 20 cm x 20cm yang terbuat dari MDF. Tujuan perancangan tersebut untuk meningkatkan performa kontrol termal dengan pengontrolan PI.

Pembuatan kontrol PI dengan modifikasi *anti-windup* pada sistem rumah termal menggunakan Thermocouple Type K sebagai sensor pendeteksi suhu ruangan. Untuk mengolah data sensor menggunakan microcontroller, dalam hal ini penulis menggunakan Arduino Uno untuk menjalankan kontrol PI dan mengeluarkan nilai duty cycle yang akan menentukan besarnya tegangan listrik AC menuju lampu sebagai sumber panas

## .2. Metode Penelitian

Metode yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

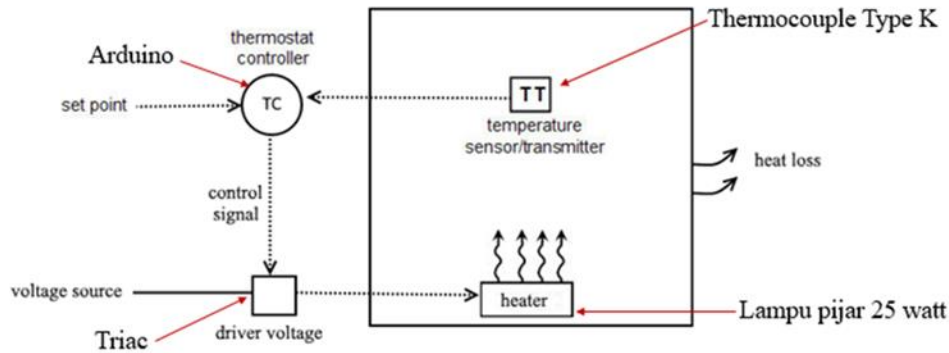


Gambar 1 Diagram Alir

### 3. Perancangan

#### 3.1 Perancangan Sistem

Adapun sistem yang digunakan dalam tugas akhir ini sebagai berikut :

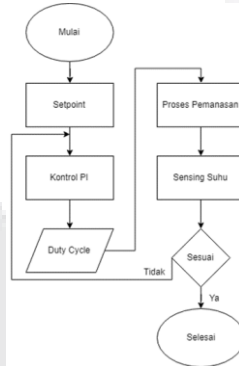


**Gambar 2 Terminology kontrol temperature**

Dari Gambar 3.1, menggambarkan sistem yang dirancang. Ketika sensor mengukur suhu dari model ruangan selanjutnya hasil dari bacaan sensor tersebut masuk kedalam Arduino. Didalam Arduino kemudian data dari sensor akan dikalkulasikan dengan algoritma kontrol PI. Apabila suhu ruangan masih dibawah setpoint, maka duty cycle yang menuju driver voltage akan di perbesar dan begitu sebaliknya. Sebagai pemanas pada sistem ini ialah lampu pijar 25 watt.

#### 3.2 Perancangan Program Kontrol

Pada tugas akhir ini akan akan menghasilkan kontrol suhu ruangan termal dengan diimplementasikan dalam sebuah algoritma pemograman dan sistem elektronika. Gambar 3 adalah *flow chart* yang digunakan dalam perancangan sistem.

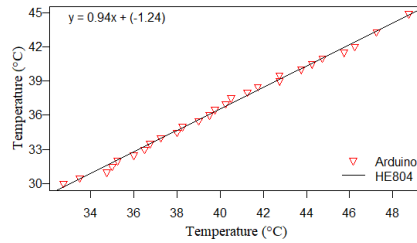


**Gambar 3 Flow chart sistem kontrol dengan PI**

### 4. Pembahasan

#### 4.1 Pengujian Sensor Suhu Thermocouple Type K

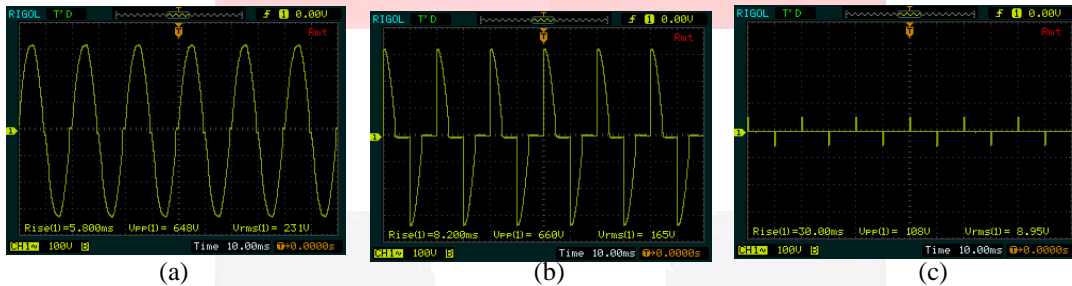
Pengujian sensor Thermocouple type K dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan dari Arduino dan HE804. Pengujian dilakukan pada jangkauan suhu antara 30°C sampai 45°C. Perbandingan dua sensor tersebut dapat dilihat pada Gambar 4. Setelah mendapatkan persamaan, selanjutnya akan digunakan untuk pembacaan sensor di Arduino agar menghasilkan nilai yang terkalibrasi.



Gambar 4 Kalibrasi Sensor

4.2 Pengujian Rangkaian Kontrol Tegangan AC

Pengamatan dilakukan dengan menggunakan *oscilloscope* untuk melihat bentuk gelombang yang telah di kendalikan melalui *trigger* dari mikrokontroler ke *driver* Tegangan AC. Keluaran pengontrolan tegangan AC yang diberikan beban lampu pijar 25watt dapat dilihat di gambar Ketiga bentuk gambar gelombang tegangan pada beban yang diuji, dapat diketahui ketika driver tegangan diberikan sinyal



Gambar 5 (a) Sinyal tegangan beban untuk sinyal kontrol 100%, (b) Sinyal tegangan beban untuk sinyal kontrol 50%, (c) Sinyal tegangan beban untuk sinyal kontrol 0%

maksimal (100%), bentuk gelombang tegangan berbentuk gelombang AC sempurna. Ketika di berikan sinyal masukan 50%, gelombang tegangan menunjukkan perubahan bentuk yang diiringi dengan penurunan nilai tegangan dari nilai maksimalnya. Dan langkah terakhir ketika diberi nilai sinyal masukan 0%, gelombang tegangan mengalami penyimpangan dari *rule of thumb* yang sangat jauh, dimana untuk menghitung nilai tegangan keluaran di pakai rumus

$$V_o = V_s * D \tag{1}$$

$$V_o = V_s * \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \tag{2}$$

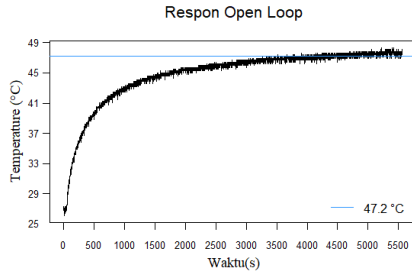
Akan tetapi hasil yang dapat dilihat dari gambar 4.1.(b) sampai gambar 4.1.(c) menunjukkan bahwa tegangan yang keluar tidak sesuai dengan rumus 2 Walaupun begitu, fungsi dari triac yang melakukan pengontrolan tegangan dengan menunda waktu awal gelombang muncul berjalan sebagaimana mestinya. Berikut di Tabel 1 akan diberikan bukti saturasi aktuator.

Tabel 1 Parameter Kontrol PI

Duty Cycle	Perhitungan (v)	Triac (v)
100	228.5	218
200	457	218
300	685.5	218
400	914	218
500	1142.5	218

### 4.2 Perancangan dan Pengujian Sistem Kendali

Perancangan sistem kendali PI dalam Tugas Akhir ini dilakukan dengan metode *tunning manual*. Dengan metode ini sistem akan diberikan masukan berupa *unit-step*. Dan sistem akan memberikan kurva tanggapan yang dapat kita pergunakan dalam keperluan merancang sistem kendali PI.



Gambar 6 Open Loop System

Dari gambar 4.3-1 dapat dilihat respon sistem menghasilkan bentuk kurva sistem orde satu. Dari data respon *open loop* kita dapat memperkirakan fungsi alih untuk sistem ini yang dapat ditulis sebagai berikut

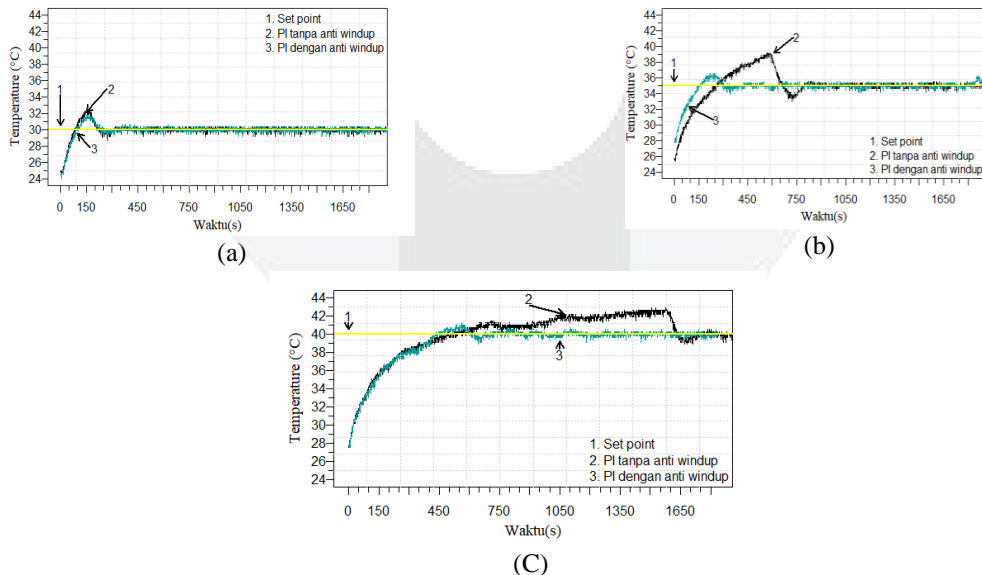
$$G(s) = \frac{19.68}{473s + 1} \tag{3}$$

Dari persamaan fungsi alih 3 dengan menggunakan metoda *tunning kontrol manual* didapatkan lah parameter kontrol PI seperti pada Tabel 2.

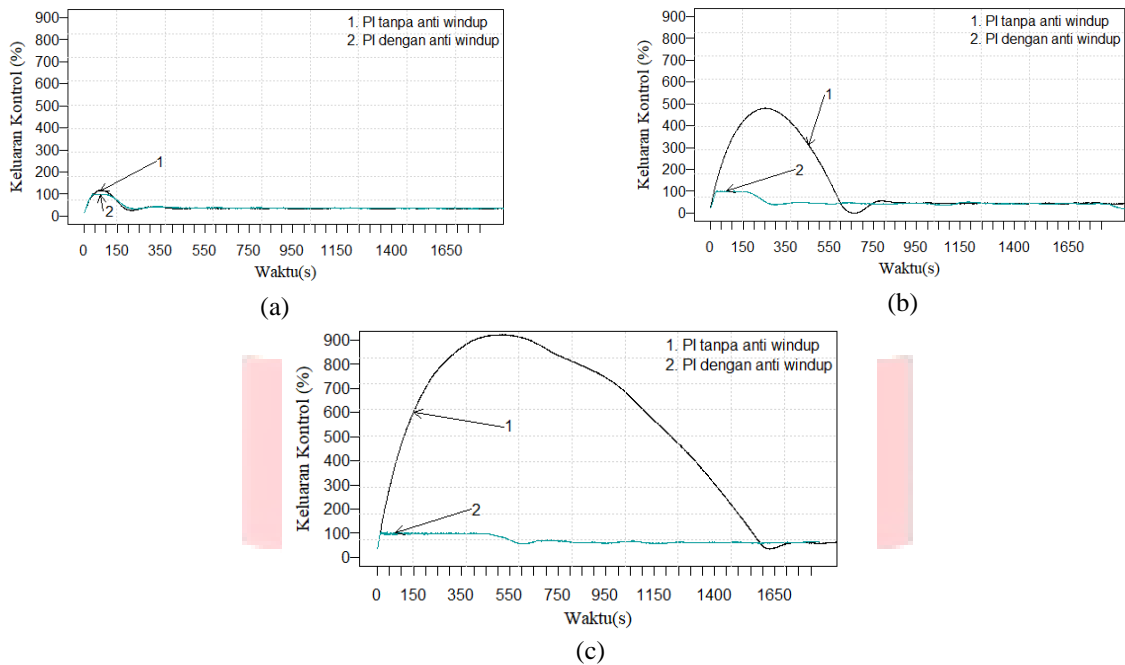
Tabel 2 Parameter Kontrol PI

Proportional gain, $K_p$	Integral gain, $K_i = \frac{K_p}{\tau}$
0.5081	0.10742

Dengan menggunakan parameter kontrol seperti pada Tabel 2, maka dihasilkan respon sistem sebagai berikut :



Gambar 7 Perbandingan Response hasil pengontrolan PI dan pengontrolan PI dengan anti – windup. (a) Setpoint 30 °C, (b) Setpoint 35 °C, (c) Setpoint 40 °C



Gambar 8 Perbandingan Controller Ouput pengontrolan PI dan pengontrolan PI dengan anti – windup. (a) Setpoint 30 °C, (b) Setpoint 35 °C, (c) Setpoint 40 °C

Tabel 3 Analisis Waktu

No	Setpoint	Anti-windup	Settling time 2% (s)	Overshoot (%)	Peak Time (s)	Peak temperature (°C)
1	30 °C	Tidak	67	7.6	168	32.28
2		Iya	73	6	153	31.8
3	35 °C	Tidak	917	12.45	572	39.36
4		Iya	414	4.34	217	36.52
5	40 °C	Tidak	395	7.25	1505	42.9
6		Iya	376	3.1	561	41.24

Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa dengan menggunakan parameter PI yang sama seperti pada Tabel 2 dapat menghasilkan performa respon yang berbeda dimana terlihat perbedaan jelas di overshoot yang dihasilkan, jika dilihat pada Tabel 3 dengan setpoint 35 °C maka overshoot yang dihasilkan PI tanpa modifikasi menghasilkan overshoot sebesar 12.45 % dan 4.34% untuk overshoot dengan menggunakan modifikasi anti-windup. Dan pada Gambar 8 dapat diperhatikan keluaran kontrol yang dihasilkan dari masing-masing algoritma pengontrolan.

Pada tugas akhir ini digunakan driver dengan rentang kontrol Ttotal sebesar 10.000 mikrosecond dan bekerja sesuai dengan persamaan 2. Pengontrolan tanpa anti-windup menghasilkan nilai kontrol yang sangat besar yang tidak dapat diproses oleh driver pengontrol tegangan AC, dan sementara dengan menggunakan modifikasi anti-windup menghasilkan nilai kontrol yang tidak begitu besar dan dapat diproses oleh driver seperti pada Gambar 8.

**4. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian sistem kontrol rumah termal, maka dapat disimpulkan hasil perbandingan dari PI dengan modifikasi dan PI tanpa modifikasi ialah .

1. Implementasi metode kontrol PI dengan modifikasi anti-windup telah dilaksanakan pada tugas akhir ini. Bahwa implementasi anti-windup pada kontrol PI dengan aktuator yang memiliki batasan operasi dapat memperbaiki kontrol PI terkhususnya menghasilkan overshoot yang berkurang, waktu

settling time yang semakin cepat untuk mengatur dan mempertahankan suhu pada titik pengujian. Modifikasi PI dengan anti-windup dilakukan dengan membalikkan tanda penjumlahan pada bagian integral kontrol PI pada saat nilai error pada kontrol PI telah berubah dari nilai negatif menjadi positif.

2. Dalam tugas akhir ini, tiap metode kontrol akan mengeluarkan nilai duty cycle yang akan masuk menuju aktuator. Nilai duty cycle pada penelitian ini merupakan parameter yang akan diperbaiki saat mengimplementasikan metode kontrol PI dengan modifikasi *anti-windup* dengan satuan dalam persen (%). Dengan membandingkan dua metode kontrol pada tiga setpoint didapatkan perbaikan duty cycle antara kontrol PI yang dimodifikasi dengan *anti-windup* dengan kontrol PI konvensional.

#### Daftar Pustaka

- [1]. Sudhir Ranjan, Abhishek Sharma, Puneet Chaudhary. (2014). An effective temperature controller system using PID mechanism.
- [2]. Hang Wu, Weihua Su, Zhiguo Liu. (2014). PID controllers: design and tuning methods.
- [3]. Shreyas S Deshpande, Chandrakant B Kadu. (2016). Design of Multi Scale PID
- [4]. William K. Roots, Guney Gonenc. (1969). Temperature Control in Industrial Processes.
- [5]. Lane Desborough, Randy Miller. (2016). Increasing Customer Value of Industrial Control Performance Monitoring—Honeywell’s Experience.
- [6]. Jen-Yang Chen. (1999). An Integration Design Approach in PID Controller.
- [7]. Mohd Hafiz A. Jalil, Mohd Hezri Marzaki, Nurhani Kasuan, Mohd Nasir Taib, Mohd Hezri Fazalul Rahiman. (2013). Implementation of Anti Windup Scheme on PID Controller for Regulating Temperature of Glycerin Bleaching Process.
- [8]. Hwi-Beom Shin, Jong-Gyu Park. (2012). *Anti-windup* PID Controller With Integral State Predictor for Variable-Speed Motor Drives.
- [9]. Prof. Alberto Bemporad. (2010). *Anti-windup* techniques.
- [10]. Lucian R. da Silva , Rodolfo C.C. Flesch , Julio E. Normey-Rico. (2018). Analysis of *Anti-windup* Techniques in PID.
- [11]. C. Bohn, D.P. Atherton. (1995). An analysis package comparing PID *anti-windup* strategies.
- [12]. (2017, November 3). PID Theory Explained. Diambil kembali dari National Instruments: <http://www.ni.com/white-paper/3782/en/>
- [13]. Dale E. Seborg. (2004). Dalam Process Dynamics and Control (hal. 185-193).
- [14]. Xiaoqin Mo, Wenfun Sun. (2017). Robust *Anti-windup* Design for PI Control System.
- [15]. Kyohei Sakai, Yoshihisa Ishida. (2015). An Improved *Anti-windup* Control Using a PI Controller.
- [16]. (2017, November 27). AC Phase Control. Diambil kembali dari Arduino: <https://playground.arduino.cc/Main/ACPhaseControl>.