

SISTEM KONTROL KECEPATAN MOTOR *UNIVERSAL* MENGGUNAKAN PID ARDUINO

Iwan Setiawan, Emmanuel Agung Nugroho, Nanang Roni Wibowo, Janizal

Teknologi Rekayasa Mekatronika, Politeknik Enjinering Indorama

e-mail: iwan.setiawan@pei.ac.id

Abstrak

Motor universal telah banyak sekali digunakan pada peralatan rumahtangga, diantaranya mixer, mesin bor listrik, mesin gerinda, mesin jahit dan banyak lagi penggunaan lainnya. Motor universal merupakan motor yang dapat beroperasi dengan menggunakan sumber tegangan AC maupun DC dengan karakteristik khas-nya adalah kecepatan putar yang tinggi hingga di atas 3200 rpm. Kecepatan putar motor universal dapat dikendalikan dengan menggunakan thyristor yang menghasilkan tegangan DC ataupun tegangan AC terkendali. Pengaturan tegangan AC atau DC terkendali pada thyristor dilakukan dengan memberikan pulsa pemicuan pada gate thyristor. Untuk mendapatkan kecepatan putaran yang diharapkan digunakan sistem kontrol dengan pengendali PID. Sistem Kontrol PID (Proportional-Integral-Derivative) merupakan kontroler yang presisi untuk menghasilkan kecepatan yang sesuai dengan referensinya. Dalam implementasi ini system PID sebagai kontrol terhadap pemicuan gate thyristor dirancang secara digital dengan menggunakan Arduino UNO. Data pengujian menunjukkan bahwa besarnya sudut pemicuan berpengaruh secara signifikan terhadap kecepatan putaran motor universal.

Kata Kunci : Motor Universal Satu Fasa, PID, Arduino

Abstract

Universal motors have been widely used in household appliances, including mixers, electric drilling machines, grinding machines, sewing machines and many other uses. Universal motors are motors that can operate using AC or DC voltage sources with typical characteristics being high rotational speeds above 3200 rpm. The rotational speed of a universal motor can be controlled by using a thyristor that produces a controlled DC voltage or AC voltage. Controlled AC or DC voltage regulation on thyristors is done by providing a triggering pulse on the thyristor gate. To get the expected rotation speed, a control system with a PID controller is used. The PID Control System (Proportional-Integral-Derivative) is a precise controller to produce speeds that match the reference. In this implementation, the PID system as a control of thyristor gate triggering is digitally designed using Arduino UNO. The test data shows that the magnitude of the triggering angle has a significant effect on the rotation speed of the universal motor.

Keyword : universal motor, PID, Arduino

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan pesat dunia perindustrian membutuhkan peralatan proses produksi maupun pendukungnya yang menggunakan motor, baik motor DC maupun AC yang bekerja dengan kecepatan putar konstan maupun yang bervariasi dengan pengasutan langsung maupun pengasutan bertingkat untuk menghindari arus pengasutan yang terlalu tinggi pada motor. Motor universal merupakan motor listrik yang dapat beroperasi dengan menggunakan sumber tegangan AC maupun DC karena pada dasarnya motor universal adalah suatu motor seri yang mempunyai kemampuan bekerja pada tegangan AC maupun DC [1].

Pengaturan kecepatan motor universal dapat dilakukan dengan mengatur tegangan masukan pada motor universal tersebut. Untuk menghasilkan tegangan AC pada motor universal maka harus digunakan sumber AC, dan salah satu pengaturan kecepatan motor universal dengan menghasilkan tegangan yang bervariasi maka dapat digunakan dengan menggunakan rangkaian

Makalah dikirim 3 Februari 2023; Revisi 23 Maret 2023; Diterima 3 April 2023

Sistem Kontrol Kecepatan Motor Universal menggunakan PID Arduino
Iwan Setiawan, Emmanuel Agung Nugroho, Nanang Roni Wibowo, Janizal

thyristor daya. Dengan adanya pengaturan tersebut, maka arus starting atau arus awal motor tidak terlalu tinggi [2].

Pengontrolan PID pada umumnya yang digunakan adalah metode trial-error, untuk menentukan parameter yang tepat untuk PID, namun hasil yang didapat tidak membuat kontroler PID optimal. Salah satu peranan penting pengendali PID dapat dilihat pengaplikasiannya pada motor satu fasa (AC), masalah utama motor AC adalah bagaimana mengontrol dan menstabilkan kecepatan sudut dalam nilai referensi, karena kecepatan motor AC terkadang mengalami pelemahan akibat pembebanan yang dapat mempengaruhi melambatnya putaran sehingga kecepatan tidak konstan [3].

2. DASAR TEORI

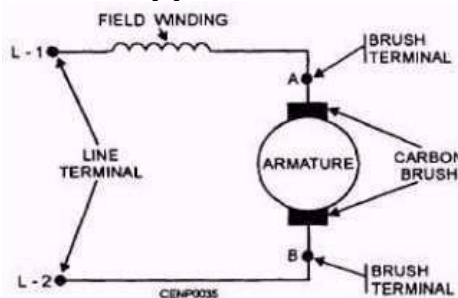
A. Motor Universal

Motor universal sesuai dengan namanya adalah salah satu motor listrik yang bekerja pada sumber tegangan listrik arus bolak-balik (AC) dan pada arus searah (DC) karena memiliki konstruksi yang sama dengan motor dc seri. Adapun konstruksi dari motor universal seperti tampak pada Gambar 1 [4].



Gambar 1. Konstruksi Motor Universal.

Konstruksi motor universal seperti pada Gambar 1 dapat dinyatakan dalam bentuk rangkaian ekuivalen seperti tampak pada Gambar 2 [5].



Gambar 2. Rangkaian Ekuivalen Motor Universal.

Berdasarkan rangkaian tersebut dapat dinyatakan persamaan tegangan sumber V_s dari motor universal sebagai berikut :

$$V_s = E_a + I_a(R_s + jX_s) \quad (1)$$

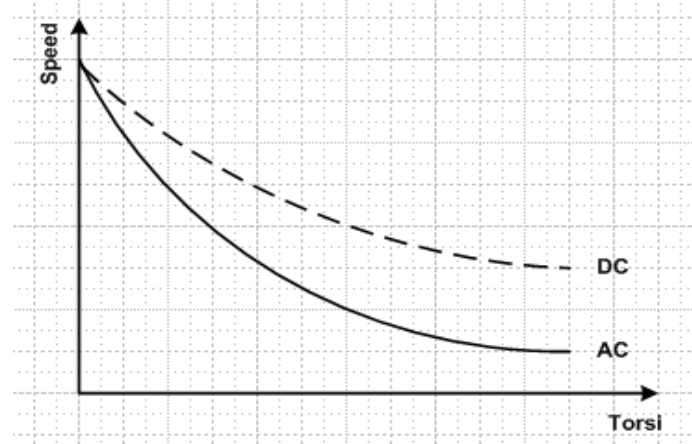
sehingga kecepatan motor universal dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$n = \frac{E_a}{C \cdot \phi} = \frac{I_a - I_a(R_s + jX_s)}{C \cdot \phi} \quad (2)$$

Dimana:

- n = Kecepatan motor universal
- V_s = Tegangan sumber
- I_a = Arus jangkar
- R_s = Resistansi kumparan medan stator
- X_s = Reaktansi kumparan medan stator
- ϕ = Fluks medan magnet stator
- C = Konstanta motor

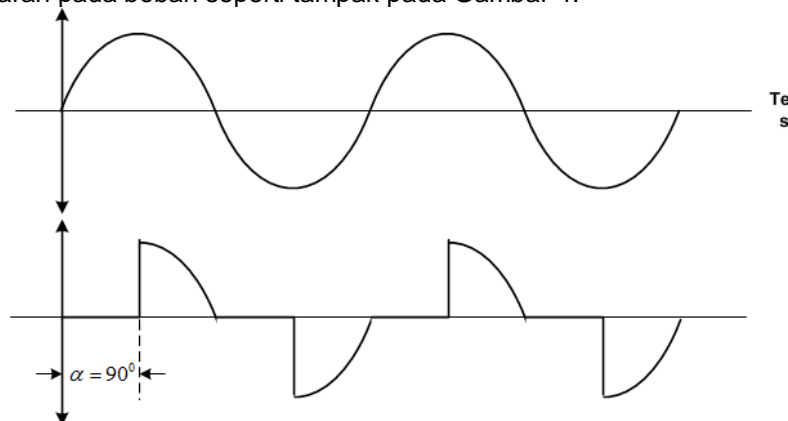
Berdasarkan persamaan (1) dan (2) di atas maka kecepatan putaran motor universal dipengaruhi oleh besarnya tegangan sumber V_s dan arus jangkar I_a . Besarnya arus jangkar ini dipengaruhi oleh faktor pembebanan atau torsi beban. Dengan demikian kecepatan putar motor universal pada kondisi berbeban juga dipengaruhi oleh besarnya torsi beban pada poros motor tersebut. Perbandingan kecepatan dan torsi untuk motor universal ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Karakteristik Torsi dan kecepatan pada motor universal [4].

Pengaturan kecepatan motor universal dapat dilakukan dengan mengatur variabel tegangan sumber V_s . Dari persamaan kecepatan motor di atas, dapat diketahui semakin besar tegangan sumber maka kecepatan motor universal akan semakin meningkat demikian pula sebaliknya. Dengan demikian pengaturan kecepatan motor universal hanya dapat dilakukan dengan mengatur tegangan sumber yang menuju ke motor universal [4].

Salah satu metode pengaturan tegangan sumber bolak-balik pada beban dapat dilakukan dengan mengatur sudut fasa penyulutan pada *thyristor*. Prinsip kerjanya dimana kedua *thyristor* disulut secara bergantian pada tiap belahan gelombang sehingga menghasilkan bentuk tegangan keluaran pada beban seperti tampak pada Gambar 4.



Gambar 4. Bentuk tegangan keluaran pada sudut penyulutan 90 derajat.

Hubungan antara tegangan keluaran efektif dengan sudut fasa penyalan *thyristor* pada beban motor universal dapat dinyatakan sebagai berikut [6] :

$$V_o = \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi}} \left(\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right) \dots\dots\dots (3)$$

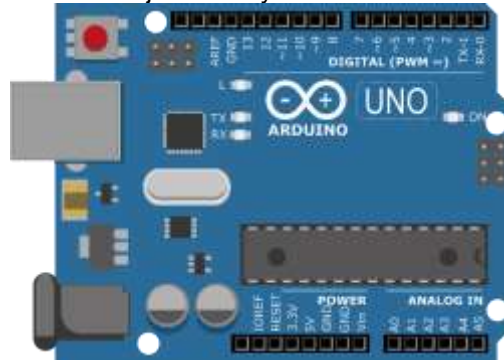
dimana :

- V_o = tegangan keluaran efektif
- V_m = tegangan maksimum sumber
- α = sudut fasa penyalan

dari persamaan di atas dapat diketahui bahwa semakin besar sudut penyalan *thyristor* maka semakin kecil tegangan keluaran efektifnya.

B. Arduino UNO

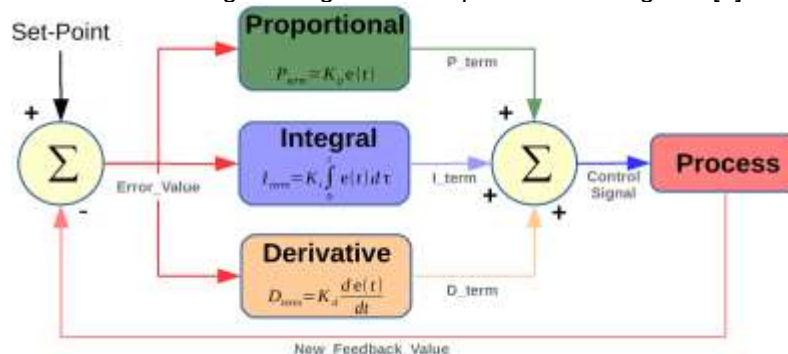
Arduino Uno (Gambar 5) adalah board mikrokontroler berbasis ATmega328 (datasheet). Memiliki 14 pin input dari output digital dimana 6 pin input tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 6 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan Board Arduino Uno ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau listrik dengan AC yang ke adaptor-DC atau baterai untuk menjalankannya.



Gambar 5. Board Arduino Uno.

C. System kendali PID

Sistem kontrol PID (*Proportional-Integral-Derivative*) merupakan sistem control untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut (Gambar 6). Parameter kontrol PID terdiri atas *kontrol proportional*, *integral* dan *derivative*. Dinamika penggunaannya bisa hanya digunakan kontrol P atau PI atau PID, tergantung respon yang diinginkan terhadap suatu plant. Masukan sistem (set point) adalah $r(t)$, dengan nilai keluaran atau *output* dilambangkan dengan $m(t)$, sedangkan $e(t)$ merupakan nilai error yang dihasilkan sistem dengan besarnya dapat dihitung dari $r(t) - m(t)$. Nilai error inilah yang nantinya akan diproses oleh kontrol PID agar menghasilkan output sesuai keinginan [7].

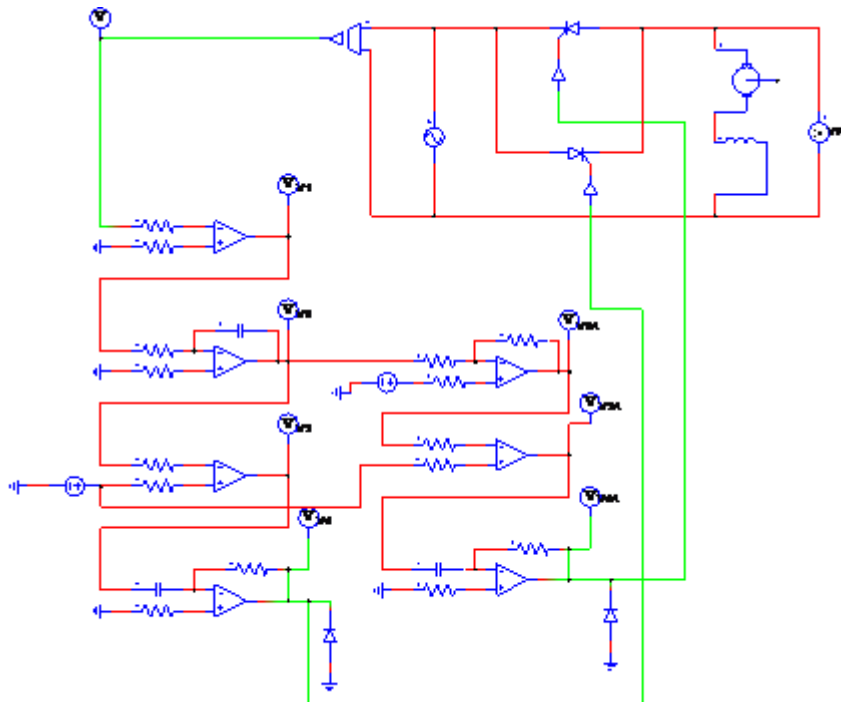


Gambar 6. Prinsip dasar kontrol Arduino.

3. METODE PENELITIAN

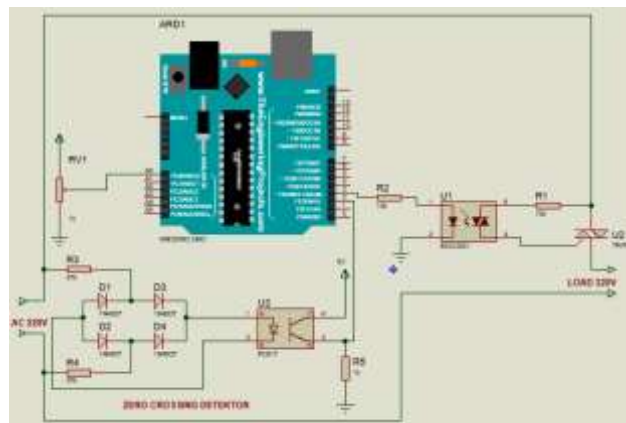
Pada penelitian ini menerapkan metode pengembangan perangkat keras dan perangkat lunak dari sistem pengaturan kecepatan motor universal. Adapun diagram blok rancangan penelitian ini diperlihatkan seperti pada Gambar 7 dan 8. Prinsip kerja dari Gambar 7 dan 8 tersebut merupakan prinsip mensupply tegangan ke motor universal, *encoder* berputar menghasilkan sinyal sinkronisasi dengan mendeteksi titik persilangan nol dari sumber tegangan bolak-balik. Sinyal sinkronisasi dikirim ke arduino digunakan sebagai titik start mengaktifkan waktu tunda penyalan *thyristor* sehingga sudut fasa penyalan *thyristor* selalu serempak dengan fasa sumber tegangan ac. Ketika waktu tunda sudut fasa penyalan *thyristor* telah berakhir maka arduino membangkitkan pulsa penyulutan untuk *thyristor*. Pulsa penyulutan ini diperkuat terlebih dahulu oleh rangkaian driver sehingga mampu menghasilkan nilai arus penyulutan yang sesuai bagi *thyristor* agar bisa menghantarkan arus listrik dari sumber tegangan ac ke motor universal.

Dengan mengatur waktu tunda sudut penyalutan *thyristor* melalui potensio-meter dapat diperoleh tegangan efektif yang bervariasi sehingga kecepatan motor universal akan ikut berubah.



Gambar 7. Simulasi perancangan pengendali kecepatan motor universal.

Dalam penelitian ini rancangan sistem kontrol kecepatan motor universal satu fasa menggunakan PID Arduino akan diuji dalam beberapa variabel pengujian yakni pengujian sinyal sinkronisasi, pengujian respon sudut penyalutan terhadap sinyal sinkronisasi, dan pengujian linieritas tegangan keluaran efektif terhadap sudut penyalutan *thyristor*



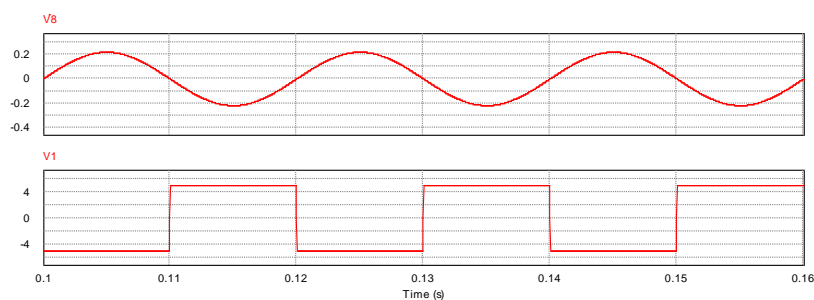
Gambar 8. Rangkaian pengujian pengaturan kecepatan motor universal dengan thyristor terkendali PID Arduino.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pada rancangan diagram blok di atas (Gambar 8) sistem pengaturan kecepatan motor universal berbasis Arduino. Komponen transistor berikut komponen pendukungnya. Transistor ini akan bekerja menghasilkan sinyal logika rendah pada terminal emitor jika tegangan sumber AC berada di bawah nilai tegangan referensi 5 V. Sinyal pulsa

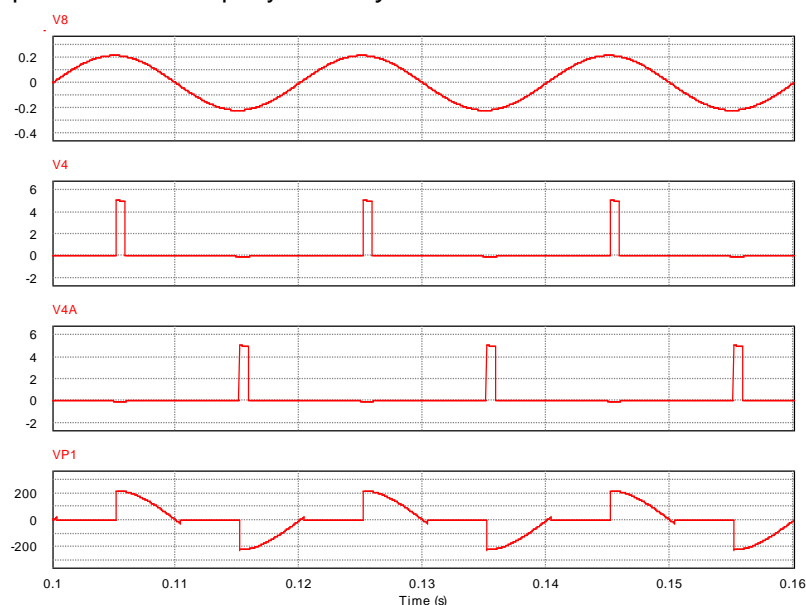
sinkronisasi ini diserahkan ke arduino melalui terminal port. Kemudian arduino akan melakukan proses pengolahan waktu tunda sesuai dengan nilai yang diterima. Kedua tombol ini mengatur lamanya sudut fasa penyulutan *thyristor*. Jika tombol Up ditekan maka nilai sudut fasa akan mengecil dan *thyristor* akan disulut lebih cepat sehingga tegangan keluaran akan meningkat. Sebaliknya jika tombol *down* ditekan maka nilai sudut fasa akan membesar dan *thyristor* akan disulut lebih lambat sehingga tegangan keluaran efektif akan mengecil. Setelah sudut penyalan berakhir maka arduino akan mengeluarkan sinyaltrigger melalui *port* sehingga *thyristor* (*triac*) dapat menghantarkan arus dari sumber ke beban motor universal.

Berdasarkan pengujian perangkat *hardware* dan *software* pada sistem pengaturan kecepatan motor universal 1 fasa berbasis arduino diperoleh hasil pengujian pertama berupa sinyal keluaran dari rangkaian *zero crossing* seperti tampak pada Gambar 9. Terlihat bahwa sinyal sinkronisasi berupa pulsa logika rendah (0V) yang muncul setiap kali sumber tegangan AC melewati titik persilangan nol. Periode sinyal sinkronisasi nilainya sebesar setengah dari periode gelombang sinus dari sumber tegangan AC. Karena frekuensi dari sumber tegangan AC PLN sebesar 50 Hz maka periode gelombang adalah 1/50 Hz atau 20 mili detik. Dengan demikian periode pulsa sinkronisasi sebesar 10 mili detik.



Gambar 9. Keluaran Zero Crossing terhadap Sumber Tegangan AC.

Pada Gambar 9, pulsa sinyal sinkronisasi berupa logika rendah dimana salah satu dari kedua sisi pulsa tersebut tidak tepat jatuh berada di titik persilangan nol. Hal ini disebabkan karena transistor dalam rangkaian *zero crossing* mulai dapat menghantar hanya jika tegangan sumber tegangan AC melebihi tegangan bias maju dioda basis-emitornya sebesar 0,7 Volt. Jadi di bawah nilai tersebut transistor akan tidak menghantar sehingga menghasilkan pulsa logika 0. Oleh karena itu, sisi naik dari pulsa sinkronisasi selanjutnya digunakan sebagai pulsa start untuk mengaktifkan pewaktuuan sudut penyalan *thyristor*.



Gambar 10. Bentuk tegangan keluaran motor universal terhadap sudut fasa.

Pada Gambar 10 memperlihatkan hasil pengujian yang kedua berupa respon Arduino terhadap sinyal sinkronisasi dalam menghasilkan sudut fasa penyalan *thyristor*. Terlihat bahwa waktu penyalan *thyristor* mulai diaktifkan hanya jika menerima pulsa positif dari sinyal sinkronisasi, dan selanjutnya waktu tunda berjalan sampai pada batas nilai yang telah ditentukan. Ketika waktunya sudah habis maka saat yang bersamaan muncul pulsa *trigger* dengan waktu yang sangatsingkat. Pulsa *trigger* inilah yang menentukan penyalan bagi *thyristor* sehingga diperoleh bentuk tegangan keluaran motor universal dengan belahan gelombang yang terpotong. Dari Gambar 10 jelas bahwa waktu tunda penyalan menentukan posisi dari pulsa *trigger* yang juga menentukan sudut fasa penyalan *thyristor*.

Pada Gambar 10 memperlihatkan salah satu hasil pengukuran dengan nilai sudut penyulutan *thyristor* pada sudut fasa 90°. Terlihat bahwa pada rentang sudut di bawah 90° dimana belum terjadi pulsa penyulutan pada *thyristor* sehingga tidak muncul tegangan sumber AC pada beban motor universal. Kemudian setelah mencapai tepat 90° dimana terjadi pulsa *trigger* dan menyulut *thyristor* sehingga muncul tegangan sumber AC tepat mulai dari sudut 90° sampai sudut 180° pada beban motor universal. Penyulutan *thyristor* terjadi pada belahan positif dan negatif dari sumber tegangan.

Berdasarkan pengujian pada rangkaian sistem pemecuan thyristor sebagai pengendali motor universal diperoleh data-data pengukuran yang ditunjukkan pada Tabel 1 – 4.

*Tabel 1. Tegangan Motor Universal
Sudut Penyalan 0 - 0,2.*

PWM	SUDUT PICU	TEGANGAN INPUT NORMAL (MV)	KECEPATAN POROS (RPM)
0	0,00	0	0
5	0,02	294	0
10	0,04	586	0
15	0,06	698	0
20	0,08	880	0
25	0,10	1054	0
30	0,12	1228	0
35	0,14	1402	0
40	0,16	1576	0
45	0,18	1750	0
50	0,20	1924	0

*Tabel 2. Tegangan Motor Universal
Sudut Penyalan 0,2 - 0,39.*

PWM	SUDUT PICU	TEGANGAN INPUT NORMAL (MV)	KECEPATAN POROS (RPM)
55	0,22	2098	2220
60	0,24	2272	2712
65	0,25	2446	2841
70	0,27	2620	3359
75	0,29	2794	3526
80	0,31	2968	3805
85	0,33	3142	4472
90	0,35	3316	4771
95	0,37	3490	4938
100	0,39	3664	5153

*Tabel 3. Tegangan Motor Universal
Sudut Penyalan 0,4 - 0,57.*

PWM	SUDUT PICU	TEGANGAN INPUT NORMAL (MV)	KECEPATAN POROS (RPM)
105	0,41	3838	5593
110	0,43	4012	5631
115	0,45	4186	5800
120	0,47	4360	5938
125	0,49	4534	6054
130	0,51	4708	6410
135	0,53	4882	6460
145	0,57	5230	6954

*Tabel 3. Tegangan Motor Universal
Sudut Penyalan 0,4 - 0,57.*

PWM	SUDUT PICU	TEGANGAN INPUT NORMAL (MV)	KECEPATAN POROS (RPM)
155	0,61	5578	7195
165	0,65	5926	7401
175	0,69	6274	7524
185	0,73	6622	7733
195	0,76	6970	7912
205	0,80	7318	8005
215	0,84	7666	8032
225	0,88	8014	8052
235	0,92	8362	8078
245	0,96	8710	8130
255	1,00	9058	8143

Pada Tabel 1 – 4 terlihat bahwa tegangan keluaran efektif dari thyristor menuju beban motor universal semakin menurun seiring dengan peningkatan sudut fasa penyalan. Pada Tabel 1 – 4 terlihat bahwa tegangan masukan efektif dari *thyristor* menuju beban motor universal semakin meningkat seiring dengan peningkatan sudut fasa penyalan.

5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas maka dalam penelitian ini dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengembangan perangkat keras dan lunak dalam pengaturan kecepatan motor universal dengan metode kontrol sudut fasa penyalan thyristor berbasis arduino telah bekerja dengan baik dalam rentang pengaturan sudut fasa dari nol sampai akhir.
2. Linieritas pengaturan sudut fasa penyalan *thyristor* dalam rentang sudut pengaturan dari nol tidak diimbangi dengan linieritas kecepatan motor universal. PID berfungsi untuk mengontrol keluaran agar sesuai dengan set point yang diberikan. Parameter P (Proporsional) berperan dalam mempercepat waktu untuk kecepatan motor meraih set point yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Danil Saputra, Oki. 2011. "Aplikasi Sensor-Sensor Pada Proses Take Up Di HS20-II Spun Sizing Machine Di PT Primatexco Indonesia,"Laporan Kerja Praktek. UNDIP, Indonesia.
- [2]. Salu Tandi S Denny, Lisi Fielman, Tumaliang hans, Patras S Lily. Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Ac Satu Fasa Dengan Menggunakan Thyristor. FT UNSRAT, Manado 95115
- [3]. Rifai, Isnani N., 2014, Penerapan Algoritma Kendali PID pada sistem real time untuk mempelajari tanggap Transien, Prosiding SENTIA Politeknik Negeri Malang, Malang.
- [4]. Nurhayata Gede I, Sistem Pengaturan Kecepatan Motor universal Satu Fasa Dengan Metode Kontrol Sudut Fasa Berbasis Mikrokontroler AT89S52. Universitas Pendidikan Ganesha.
- [5]. Robert W. Erickson, 2001, Fundamentals of Power Electronics, Kluwer Academic Publishers, New York.
- [6]. Didit Triyanto, Turahyo, Zaini, Pengaturan Kestabilan Putaran Motor Dengan Menggunakan Kontrol PID Ziegler Nichols Menggunakan Mikrokontroler Arduino. Sekolah Tinggi Teknologi Bontang 1.
- [7]. Tjahja Odianto, Bambang Suprijono, Winda Andrianta Widya Natasari. Perancangan Pengendali Kecepatan Motor Arus Searah 1 HP 220 Volt Dengan Metode PID Berbasis Mikrokontroler, Surabaya : Universitas ITATS, 2015.