

## Penerapan Kontrol PI Pada Alat Pengaduk dan Pengukus Adonan Pudak untuk Meningkatkan Hasil Produksi Industri Rumah Tangga di Gresik

Indra Ferdiansyah<sup>1\*</sup>, Irianto<sup>2</sup>, Epyk Sunarno<sup>3</sup>  
<sup>1\*,2,3</sup>Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

\*indraferdi@pens.ac.id

### Abstract

The modern of advances technological along with the development, to bring people of continue to make innovations and creations in order to take advantage of existing technological advances, the specially for the largest industry or home industry. In the field of industrial control system needs an effective and efficient is necessary to simplify, save or shorten working time and energy in a production process. In this case a plan that will be used is a DC motor as mixing system and heater as a steamer in the process of to make traditional food in Gresik "Pudak". As is often the constraints of a home industry was not able to the largest request and length of the production process. The solution of this problem is to design and create automation system production, to use proportional Integral control (PI) in each system. In the proposed systems, the process of mixing system motor speed is maintained constant 125 Rpm for 10 minutes with the value of the parameters  $K_p = 10$  and  $K_i = 5$ . After that the process of steaming temperature was kept constant around  $90^\circ\text{C}$  for  $\pm 90$  minutes, with the value of parameters  $K_p = 75$  and  $K_i = 5.0$ . Then after the whole process is completed, the buzzer will sound as a sign that proses pudak manufacture has been completed.

Keywords : control process, home industry, PI Controller

### Abstrak

Seiring dengan semakin berkembangnya kemajuan teknologi di era modern ini, membawa manusia untuk terus melakukan inovasi-inovasi dan kreasi guna memanfaatkan kemajuan teknologi yang ada, khususnya dibidang perindustrian baik skala besar maupun industri rumahan. Dibidang perindustrian kebutuhan sistem kontrol yang efektif dan efisien sangat diperlukan untuk mempermudah, menghemat atau mempersingkat waktu kerja dan tenaga pada sebuah proses produksi. Dalam hal ini sebuah plant yang akan digunakan adalah motor DC sebagai pengaduk dan heater sebagai pengukus pada proses industri rumahan pembuatan makanan khas Gresik "Pudak". Adapun yang sering menjadi kendala dari industri rumahan adalah tidak mampu memenuhi permintaan dengan jumlah besar dan lamanya proses produksi. Solusi dari permasalahan ini adalah merancang dan membuat alat produksi pudak secara semi-otomatis, dengan menggunakan kontrol Propotional Integral (PI) pada setiap sistemnya. Pada sistem yang diusulkan, proses pengadukan kecepatan motor dijaga secara konstan selama 10 menit dengan nilai parameter  $K_p=10$  dan  $K_i=5$ . Setelah itu pada proses pengukusan suhu dijaga konstan sekitar  $90^\circ\text{C}$  selama  $\pm 90$  menit, dengan nilai  $K_p=75$  dan  $K_i=5.0$ . Kemudian setelah seluruh proses selesai maka buzzer akan berbunyi sebagai tanda bahwa proses pembuatan pudak telah selesai.

Kata kunci : proses kontrol, industry rumah tangga, kontrol PI

## 1. Pendahuluan

Perkembangan ilmu teknologi di era modern ini membawa manusia untuk terus melakukan inovasi-inovasi dan berkreasi guna memanfaatkan kemajuan teknologi yang ada khususnya dibidang perindustrian. Dewasa ini, industri rumah tangga adalah menjadi salah satu contoh bidang perindustrian yang berkembang pesat, dengan biaya yang tidak terlalu mahal dan memanfaatkan teknologi-teknologi sederhana yang ada maka proses produksi sudah dapat dilakukan [1-2].

Sebuah industri rumah tangga pembuatan makanan khas daerah Gresik yaitu pudak, merupakan bentuk usaha kecil yang dapat meningkatkan hasil perekonomian dan kesejahteraan warga. Proses pembuatan pudak relatif sederhana, yaitu dilakukan dengan cara mencampur bahan-bahan pembuat pudak (Tepung beras / sagu, gula / gula aren, santan, vanilla, daun pandan) dimasukan kedalam kualii / panci kemudian dipanaskan dengan kompor dan diaduk sampai merata. Proses produksi tersebut dilakukan secara manual yang juga masih terdapat beberapa kendala yang sering dihadapi. Beberapa hal yang sering menjadi kendala utamanya adalah keterbatasan hasil produksi dikarenakan lamanya proses pembuatan serta masih membutuhkan tenaga manusia untuk proses pengadukannya sehingga tidak mampu memproduksi dalam jumlah banyak. Untuk mengatasi kendala tersebut digunakan sebuah motor DC sebagai pengaduk dan heater sebagai pemanas pada proses pembuatan pudak tersebut [3-6].

Proses kerja dari sistem yang diusulkan adalah mengatur kecepatan motor yang berfungsi sebagai pengaduk adonan pudak dengan menggunakan driver motor dan untuk proses pengukusan digunakan sebuah heater yang diatur suhunya menggunakan AC-AC Voltage Controler disulut dengan IC TCA 785 yang dikontrol melalui mikrokontroler. Sehingga dengan adanya sistem pengaturan pada peralatan ini diharapkan mampu mempermudah dan mempersingkat waktu proses produksi serta meningkatkan kuantitas

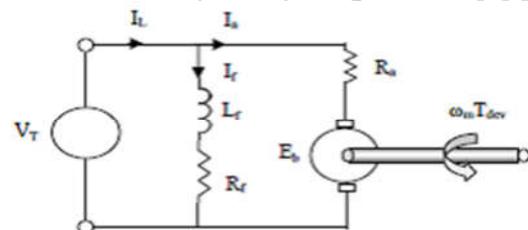
dan menjaga kualitas produksi agar tetap higeneis [4][6-7]. Keuntungan lainnya adalah cara penggunaan alatnya mudah serta dapat mengurangi pemakain LPG .

## 2. Metoda Penelitian

### 2.1. Pengaturan Kecepatan Motor DC

Mesin DC dapat digolongkan berdasarkan sambungan listrik pada lilitan armature dan lilitan stator. Hal ini dikarenakan sambungan dari lilitan pada motor dapat mempengaruhi karakteristik kerja motor. Lilitan stator dapat berkonfigurasi self-excited atau separately-excited maksudnya ujung dari lilitan dapat dihubungkan dengan terminal dari tegangan atau dari sumber tegangan terpisah. Lebih jauh lagi, pada self-excited motor lilitan dapat dihubungkan secara seri maupun parallel terhadap lilitan armature. Tiap jenis sambungan berbeda akan sangat mempengaruhi tipe operasi mesin.

Pengaturan kecepatan motor DC dapat dilakukan dengan beberapa metode sesuai dengan jenis motornya, yaitu dapat dilakukan dengan mengatur tegangan motor, mengatur flux motor, mengatur tahanan armature, dan arus jangkar. Sistem yang diusulkan menggunakan motor DC jenis *self excitation*, nantinya motor ini akan diatur kecepatannya dengan metode pengaturan tegangan yang masuk menggunakan rangkaian driver motor dari transistor tipe 3055. Rangkaian pengganti motor DC ditampilkan pada gambar 1 [3] [7].



Gambar 1. Rangkaian Pengganti Motor DC *Self Excitation*

$$E_b = K\Phi\omega_m = V_t - I_a \cdot R_a \quad (1)$$

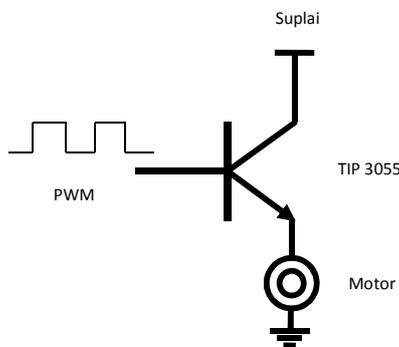
$$N = \frac{V_t - I_a \cdot R_a}{K\Phi} \quad (2)$$

Dimana

N : Kecepatan

- K : Konstanta
- Ra : Tahanan Jangkar
- Ia : Arus Jangkar
- $\Phi$  : Fluks Magnet
- Vt : Tegangan Motor

Pada dasarnya beberapa aplikasi yang menggunakan motor DC harus dapat diatur kecepatan dan arah putar dari motor DC itu sendiri. Untuk dapat melakukan pengaturan kecepatan motor DC dapat menggunakan metode PWM (Pulse Width Modulation) sedangkan untuk mengatur arah putarannya dapat menggunakan rangkaian H-bridge yang tersusun dari 4 buah transistor [7].



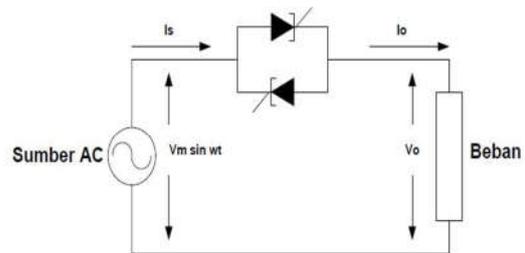
Gambar 2. Driver motor DC

Jika diinginkan sebuah motor DC yang dapat diatur kecepatannya tanpa dapat mengatur arah putarnya, maka kita dapat menggunakan sebuah transistor sebagai driver. Untuk mengatur kecepatan putar motor DC digunakan PWM yang dibangkitkan melalui fitur Timer pada mikrokontroler. Sebagian besar power supply untuk motor DC adalah sebesar 12 V – 24 V, sedangkan output PWM dari mikrokontroler maksimal sebesar 5 V. Oleh karena itu digunakan transistor sebagai penguat tegangan. Dibawah ini adalah gambar driver motor DC menggunakan transistor.

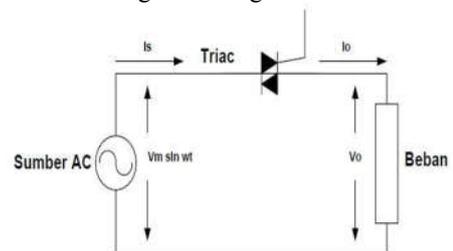
**2.2. Pengaturan Suhu Pemanas**

Sebuah pemanas yang digunakan untuk memanaskan air untuk beberapa aplikasi tertentu, seperti memasak, mengukus, aplikasi boiler dll. Dewasa ini water heater semakin berkembang dan banyak sekali sistem yang dipakai diantaranya adalah electric water

heater, pemanas yang menggunakan energi listrik untuk proses pemanasannya, semakin besar kapasitas daya yang dibutuhkan oleh heater maka semakin cepat proses pemanasannya. Pengaturan besar daya pada pemanas sangat berpengaruh oleh besar tegangan yang masuk. Dalam hal ini besar tegangana diatur oleh AC-AC- Voltage Control dengan mengatur sudut penyalan ( $\alpha$ ) untuk mencapai suhu yang telah ditentukan. Fungsi dari AC-AC Voltage Control adalah mengubah energi listrik arus bolak-balik dengan tegangan tertentu menjadi arus bolak-balik dengan tegangan yang lain. Rangkaian listrik dari AC Voltage Control satu fasa ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4 [8-10].



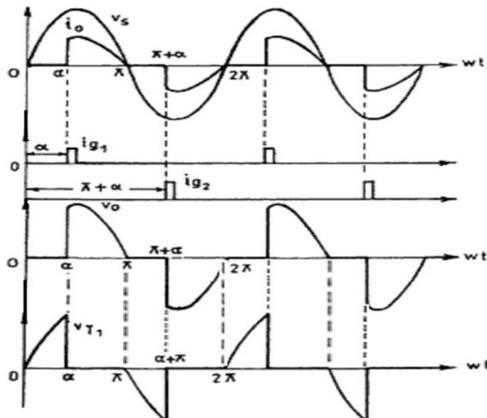
Gambar 3. Rangkaian AC-AC Voltage Control dengan 2 SCR Yang Dihubungkan Anti Paralel.



Gambar 4. Rangkaian AC-AC Voltage Control dengan TRIAC yang Dihubungkan Anti Paralel.

Rangkaian AC-AC Voltage Control terdiri sepasang SCR yang dihubungkan secara antiparalel atau invers paralel antara sumber dan beban. Hubungan antiparalel SCR tersebut dapat diganti dengan Triac seperti yang terlihat pada Gambar 4 untuk aplikasi daya rendah. Untuk gelombang penuh pengontrolan fasa simetris dari SCR T1 dan T2 diberikan penyulutan sebesar  $\alpha$  dan  $\pi + \alpha$  masing-masing dari persimpangan tegangan masukan, kekuatan aliran yang menuju ke beban dikontrol melalui kaki gate pada

SCR. Pengoperasiannya dilakukan setiap setengah siklus. Pada saat siklus positif diberikan penyulutan fasa sebesar  $\alpha$ , dan pada saat siklus negatif penyulutannya sebesar  $\pi + \alpha$ . Prinsip pengoperasian setiap setengah siklus ini hampir sama dengan halfwave rectifier terkontrol. Bentuk gelombang tegangan dan arusnya dapat dilihat pada Gambar 5 [1-2].



Gambar 5. Gelombang AC-AC Voltage Control dengan beban R

Operasi dengan beban R seperti pada Gambar diatas menunjukkan bentuk gelombang tegangan dan arus input maupun output yang telah dikontrol menggunakan AC Voltage Control. Tegangan output dan gelombang arus setelah dikontrol memiliki setengah gelombang simetri dan tidak mengandung komponen DC [2].

$$V_o = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} 2V_s^2 \sin^2 \omega t d(\omega t)} = V_s \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}} \quad (3)$$

Dimana

$V_o$  : Tegangan keluaran AC Voltage Controller

$V_s$  : Tegangan masukan AC Voltage Controller

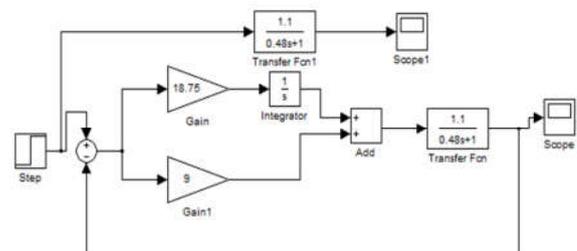
$\alpha$  : Sudut Penyalaan

### 2.3. Kontrol PI

Kontroler yang digunakan adalah kontroler Proporsional Integral. Output

respon yang dihasilkan sama dengan setting point karena memiliki zero offset. kontrol Proporsional Integral merupakan kombinasi karakteristik dari kontrol Proporsional dan kontrol Integral, dimana keluaran kontroler Proporsional adalah Proporsional terhadap error sistem, sedangkan kontroler Integral merespon ukuran dan lama waktu dari sinyal error, sehingga sinyal output dari pengontrol integral adalah hasil integral matematik dari sinyal error.

Sinyal error akan muncul ketika terdapat perubahan antara output yang dihasilkan dengan settingpoint yang diberikan. Aksi integral akan menyebabkan output terus berubah sampai tidak ada error dalam proses [3]. Besarnya aksi integral diukur dalam menit pergulungan yang merupakan hubungan antara perubahan terhadap waktu [4]. Kontroler integral juga mempunyai keluaran dengan perubahan rate yang sebanding terhadap error, blok diagram dari kontrol Propotionan Integral dapat dilihata pada Gambar 6.



Gambar 6. Pemodelan Kontrol PI

Secara garis besar Kontrol Proporsional Integral bekerja berdasarkan perubahan step pada pengukuran sehingga menyebabkan pengontrol merespon dengan cara yang proporsional yang juga diikuti oleh respon integral, ditambah dengan respon proporsi. Dengan kata lain bagian integral juga bisa mengeliminasi kesalahan yang muncul jika hanya menggunakan kontrol Proporsional saja. Karena mode integral menentukan perubahan output sebagai fungsi waktu, maka semakin banyak aksi integral pada kontrol akan menjadikan semakin cepat pula perubahan output. Mode

kontrol Proporsional Integral digunakan dalam situasi dimana perubahan tidak sering terjadi dalam sebuah proses tetapi jika terjadi, perubahan yang dirasakan hanya kecil.

Selain itu kontrol Proporsional Integral akan lebih efektif dalam sistem dengan perubahan beban secara perlahan karena perubahan beban yang cepat akan menyebabkan instabilitas sistem, jika waktu integrasi tidak ditentukan dengan baik. Kontroller integral mempunyai beberapa karakteristik yaitu, sinyal keluaran kontroller cenderung memperlambat respon sistem dan ketika sinyal error berharga nol, sinyal keluaran bertahan pada nilai sebelumnya, sedangkan jika sinyal error tidak berharga nol, maka sinyal keluaran akan mengalami perubahan sesuai dengan besarnya sinyal error dan nilai Ki. Nilai Ki yang besar akan mempercepat hilangnya nilai offset tetapi mengakibatkan peningkatan osilasi dari sinyal kontrol [7-8].

**3. Hasil Penelitian**

**3.1. Pengujian Sistem**

Pada sistem yang diusulkan pengujian dilakukan yang pertama pengujian sistem tanpa kontrol dan yang kedua pengujian dengan kontrol. Kontroller yang digunakan adalah propotional integral yaitu untuk mengatur kecepatan motor pada proses pengadukan dan menjaga suhu pada ruang pengukusan, berikut ini disajikan bentuk perhitungan model matematik untuk menentukan parameter nilai KP dan KI pada kontroller kecepatan pengadukan:

$$OLTF = \frac{K}{\tau s + 1} \tag{4}$$

$$K = \frac{Y_{SS}}{X_{SS}} = \frac{0.3168}{0.2} = 1.584 \tag{5}$$

$$\tau = \frac{1}{5} \cdot ts = \frac{1}{5} \cdot 13 = 2.6 \tag{6}$$

$$OLTF = \frac{K}{\tau s + 1} = \frac{1.584}{2.6s + 1} \tag{7}$$

$$CLTF = Kp + \frac{Kp}{\tau i s} = Kp + \frac{Kp}{\tau i} \times \frac{1}{s} \tag{8}$$

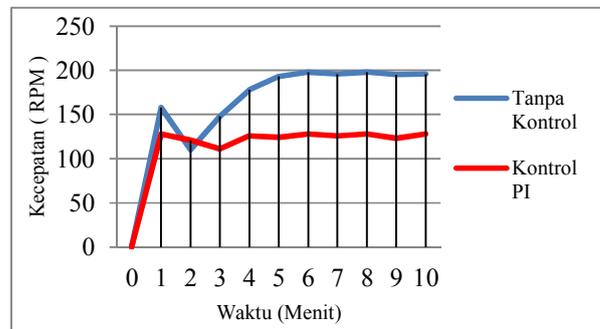
$$KP = \frac{1}{1.584} \times \frac{2.6}{15.6} = 0.105 \tag{9}$$

$$Ki = \frac{Kp}{\tau} = \frac{1.05}{2.6} = 0.4 \tag{10}$$

Setelah nilai parameter KP dan KI didapatkan selanjutnya nilai tersebut dimasukan kedalam mikrokontroler yang nantinya mengeksekusi proses sistem kontrol ini. Detail plan yang dikontrol dan respon dari sistem yang di kontrol ditampilkan pada gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Plan sistem pengadukan



Gambar 8. Respon Sistem Kontrol Pengadukan

Pada gambar 8 dapat dilihat perbandingan dari sistem pengadukan dengan kontrol dan tanpa kontrol, dari grafik tersebut performa dari sistem terkontrol dapat mencapai kecepatan setpoint dalam waktu 30 detik kemudian response sistem mulai steady pada waktu 60 detik. Sedangkan respon sistem tanpa kontrol dapat dilihat bahwa kecepatan motor terus naik hingga mencapai kecepatan nominal yaitu 200 Rpm, dan kecepatan motor akan menurun ketika beban adonan ditambah. Hal ini dapat dilihat pada respon sistem di

waktu 2 menit kecepatan motor turun, kemudian naik lagi mencapai kecepatan nominal. Berbeda dengan sistem pengadukan terkontrol, dimana meskipun sistem diberikan beban adonan bertambah maka sistem atau pengadukan tetap dijaga secara konstan pada kecepatan setpoint. Setpoint kecepatan motor pada sistem pengadukan dijaga konstan sebesar 125 RPM dengan tujuan agar adonan yang diaduk dapat merata dengan baik sehingga dapat meningkatkan kualitas pudak. Detail perbandingan respon sistem sebelum dan sesudah dikontrol ditunjukkan pada table 1 dan 2.

Tabel 1. Respon kecepatan pengaduk tanpa kontrol

No.	Waktu (Menit)	Kecepatan (Rpm)
1	0	0
2	1	158
3	2	110
4	3	148
5	4	178
6	5	193
7	6	198
8	7	196
9	8	198
10	9	193
11	10	196

Tabel 2. Respon kecepatan pengaduk dengan kontrol

No.	Waktu (Menit)	Kecepatan (Rpm)
1	0	0
2	1	128
3	2	121
4	3	111
5	4	126
6	5	124
7	6	128
8	7	126
9	8	128
10	9	123
11	10	128

Dari grafik dan table diatas dapat dilihat bahwa respon dari motor yang diberi kontrol bekerja pada kecepatan sekitar 125Rpm, meskipun pada kondisi awal motor mengalami *overshoot* dengan kecepatan motor mencapai 131 Rpm . Kemudian pada saat diberikan beban dalam hal ini adalah adonan pembuatan pudak sehingga kecepatan motor

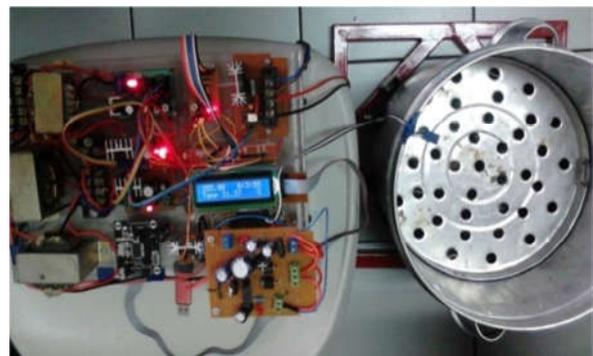
menurun hinga 111 Rpm , maka saat kondisi tersebut kontrol mulai bekerja untuk menaikkan kecepatan motor kembali menuju set point 125 Rpm. Meskipun pada grafik terlihat respon motor tidak dapat steady state, tetapi kecepatan motor di jaga secara konstan dikisaran 123 Rpm – 128 Rpm, hal itu dikarenakan motor menggunakan *gearbox* sehingga kontrol yang diberikan tidak bisa secara *smooth*. Sedangkan respon dari kecepatan motor tanpa kontrol, dapat dilihat pada grafik bahwa , motor akan bekerja pada kecepatan maksimal sekitar 198 Rpm dan ketika motor dibebani maka kecepatan akan menurun kemudian naik kembali apabila torsi motor lebih besar dari torsi beban.

Selanjutnya perhitungan model matematik untuk menentukan parameter nilai KP dan KI pada kontroler sebagai pengatur suhu pada ruang pengukusan adonan pudak:

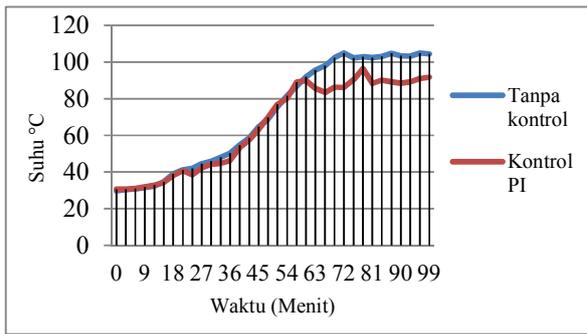
$$Kp = \frac{1}{1.083} \times \frac{6}{3.6} = 1.53 \tag{11}$$

$$Ki = \frac{Kp}{\tau} = \frac{1.05}{2.6} = 0.4 \tag{12}$$

Setelah nilai parameter KP dan KI didapatkan selanjutnya nilai tersebut dimasukan kedalam mikrokontroler yang nantinya mengeksekusi proses sistem kontrol ini. Detail plan yang dikontrol dan respon dari sistem yang di kontrol ditampilkn pada gambar 9 dan 10.



Gambar 9. Plan sistem pengukusan



Gambar 10. Respon Sistem Kontrol Pengukusan

Pada sistem pengukusan, digunakan juga sebuah kontrol *Proportional Integral* (PI) untuk menjaga suhu pada ruang pengukusan yang telah diberi atau dimasukan adonan pudak dengan suhu sekitar 90°C. Pada gambar 10 dapat dilihat perbandingan dari sistem pengukusan dengan kontrol dan tanpa kontrol, dari grafik tersebut performa dari sistem terkontrol dapat mencapai suhu setpoint dalam waktu 54 menit kemudian response sistem mengalami osilasi dan sistem mulai steady pada waktu 81 menit. Sedangkan respon sistem tanpa kontrol dapat dilihat bahwa waktu untuk mencapai setpoint sama dengan sistem terkontrol yaitu 54 menit, namun dalam hal ini suhu terus naik hingga mencapai suhu maksimum yang mampu dihasilkan oleh pemanas yaitu hingga 100°C, dimana hal ini tidak boleh terjadi dikarenakan akan merusak adonan pudak sehingga pudak terbakar. Detail data perbandingan sistem tersebut ditampilkan pada tabel 3 dan tabel 4.

Tabel 3. Respon suhu ruang pengukusan tanpa kontrol

No	Waktu (Menit)	Suhu (°C)	No	Waktu (Menit)	Suhu (°C)
1	0	29.78	18	51	75.42
2	3	30.31	19	54	81.65
3	6	30.92	20	57	86.87
4	9	31.54	21	60	91.9
5	12	32.43	22	63	95.67
6	15	34.74	23	66	98.03
7	18	39.08	24	69	102.3
8	21	41.23	25	72	104.97
9	24	42.03	26	75	102.22
10	27	44.69	27	78	102.88
11	30	45.9	28	81	102.43
12	33	48.12	29	84	103.11

13	36	50.44	30	87	104.76
14	39	54.83	31	90	103.42
15	42	58.63	32	93	103.23
16	45	64.75	33	96	104.9
17	48	68.92	34	99	104.4

Tabel 4. Respon suhu ruang pengukusan dengan kontrol

No	Waktu (Menit)	Suhu (°C)	No	Waktu (Menit)	Suhu (°C)
1	0	30.74	18	51	76.93
2	3	30.80	19	54	80.13
3	6	31.11	20	57	88.95
4	9	31.94	21	60	90.03
5	12	32.90	22	63	85.67
6	15	34.25	23	66	83.37
7	18	38.17	24	69	86.3
8	21	40.76	25	72	86.19
9	24	38.44	26	75	90.29
10	27	42.31	27	78	96.51
11	30	44.29	28	81	88.36
12	33	44.74	29	84	90.16
13	36	46.31	30	87	89.19
14	39	53.30	31	90	88.43
15	42	57.43	32	93	89.15
16	45	63.37	33	96	91.05
17	48	69.79	34	99	91.79

Dari grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa respon suhu dengan kontrol memerlukan waktu 60 menit untuk menuju set point 90°C, setelah mencapai set point maka kontroler akan bekerja untuk menjaga suhu agar tetap konstan, akan tetapi pada sistem kontrol masih terdapat kondisi osilasi sampai menit ke 81. Kemudian kondisi mulai *steady state* kembali menuju set point, hal ini disebabkan karena respon perubahan dari suhu relatif lambat. Sedangkan respon suhu tanpa kontrol terus naik sampai batas maksimal suhu dari pemanas.

### 3.2. Perbandingan Efisiensi Biaya Produksi

Rincian perbandingan biaya produksi pudak secara konvensional dengan sistem yang diusulkan ditunjukkan pada tabel 5 dan tabel 6. Perbandingan efisiensi ini dijadikan dasar para pengusaha industri rumah tangga untuk meningkatkan hasil kualitas produksi tersebut, dimana semakin efisien sistem yang

digunkana maka akan semakin menambah penghasilan dari usaha yang dilakukan.

Tabel 5. Rincian Biaya Produksi Secara Konvensional

No	Alat dan Bahan	Jumlah (Qty)	Harga Bahan (Rp)	Harga Per-hari (Rp)	Harga Per-bulan (Rp)
1	Gas LPG 3kg	3	18.000	-	54.000
2	Kelapa	1	10.000	10.000	300.000
3	Tepung beras	1kg	14.000	14.000	420.000
4	Gula	1kg	12.500	12.500	375.000
Total					1.149.000

Tabel 6. Rincian Biaya Produksi Menggunakan Sistem yang diusulkan

No	Alat dan Bahan	Daya (Watt)	Waktu (Jam)	Harga Bahan (Rp)	Harga per-hari (Rp)	Harga Per-bulan (Rp)
1	Motor DC	38	0.166	-	10	300
2	Heater	750	1.5	-	1687.5	50.625
3	Kelapa	-	-	10.000	10.000	300.000
4	Tepung beras	-	-	14.000	14.000	420.000
5	Gula	-	-	12.500	12.500	375.000
Total						1.145.925

Untuk mengetahui efisiensi biaya produksi apabila menggunakan sistem yang diusulkan adalah :

- 1) Estimasi biaya produksi selama satu bulan dengan cara konvensional = Rp. 1.149.000,-
- 2) Estimasi biaya produksi selama satu bulan dengan menggunakan sistem yang diusulkan = Rp. 1.145.925,-

Jadi efisiensi biaya produksi yang didapatkan adalah sebesar Rp 1.149.000 – Rp 1.145.925 = Rp 3.075,-

Hasil laboratorium pudak yang dibuat menggunakan sistem yang diusulkan disajikan pada gambar 11.



Gambar 11. Hasil Uji Laboratorium

Hasil uji Laboratorium terhadap pudak yang dibuat secara konvensional diberi nama pudak putri ayu sedangkan untuk pudak yang dibuat dengan sistem yang diusulkan diberikan nama pudak LJ. Dari hasil uji laboratorium, pembuatan pudak dengan menggunakan sistem yang di usulkan memiliki nilai kandungan karbohidrat yang lebih baik ini dikarenakan proses pengadukan dilakukan secara merata dan lama pengukusan serta suhunya tepat.

#### 4. Kesimpulan

Pada proses pengadukan menggunakan sebuah kontrol PI dengan nilai  $K_P=10$  dan  $K_i = 5.0$ , maka dibutuhkan waktu selama 5-7 menit untuk mencampur seluruh bahan, dengan mengatur kecepatan motor DC secara konstan 125 Rpm agar bahan dapat tercampur secara merata. Untuk proses pengukusan menggunakan sebuah kontrol PI dengan nilai  $K_p=75$  dan  $K_i=5.0$ , maka dibutuhkan waktu selama 60 menit untuk mencapai *set point*  $90^\circ\text{C}$ , lama proses pengukusan menggunakan alat ini adalah 1 jam 40 menit sedangkan apabila menggunakan cara konvensional membutuhkan waktu 2 jam, maka dengan menggunakan alat ini, diperoleh efisiensi waktu proses produksi selama 20 menit. Biaya produksi pembuatan pudak dengan sistem yang diusulkan memiliki efisiensi harga sebesar Rp 3.075,- jika dibandingkan pembuatan secara konvensional, selain itu kualitas pudak yang dihasilkan memiliki

karbohidrat yang tinggi dikarenakan pengadukan dilakukan secara merata dan konstan serta proses pengukusan dijaga pada suhu yang tepat sehingga pudak memiliki tekstur kekenyalan yang lebih bagus jika dibandingkan dengan pudak yang di produksi dengan cara konvensional.

### 5. Saran

Pada proses pengadukan penggunaan TIP 3055 sebagai *driver* motor DC masih kurang bagus, karena apabila motor DC yang digunakan memiliki arus yang cukup besar maka *driver* akan cepat panas. Sedangkan proses pengukusan penggunaan *heater* air untuk mengukus lebih cepat dibandingkan dengan kompor LPG, dan mempercepat proses pengukusan bisa digunakan *heater* udara.

### 6. Daftar Pustaka

- [1] Deshmukh and Kadu, "Design of two degree of freedom PID controller for temperature control system," in *International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT)*, Pune, India, 2016.
- [2] Ogata and Katsuhiko, *Modern Control Engineering 5Th*, New York: Prentice Hall.
- [3] I. Ferdiansyah, L. P. S. Raharja, D. S. Yanaratri and E. Purwanto, "Design of PID Controllers for Speed Control of Three Phase Induction Motor Based on Direct-Axis Current (Id) Coordinate Using IFOC," in *4th International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE)*, Yogyakarta, Indonesia, 2018.
- [4] P. Jin, M. Zheng, B. Qi and D. Feng, "Heating speed control method based on adaptive fuzzy PID algorithm," in *IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, Wuhan, China, 2018.
- [5] S. S. Deshpande and C. B. Kadu, "Design of multi scale PID controller for Temperature process," in *International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT)*, Pune, India, 2016.
- [6] Sundayani, D. F. Sinulingga, F. M. Prasetyawati and F. Matutu, "PID temperature controlling of thermoelectric based cool box," in *International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCREC)*, Yogyakarta, Indonesia, 2017.
- [7] X. Lin, Y. Liu and Y. Wang, "Design and Research of DC Motor Speed Control System Based on Improved BAS," in *2018 Chinese Automation Congress (CAC)*, Xi'an, China, 2018.
- [8] Y. Wang, H. Zou and R. Z. Jili Tao, "Predictive fuzzy PID control for temperature model of a heating furnace," in *36th Chinese Control Conference (CCC)*, Dalian, China, 2017.
- [9] Z. Chen, X. Hu, Y. Li and Z. Zhang, "Speed control system design of automatic parking based on fuzzy-PID control," in *International Conference on Information and Automation (ICIA)*, Macau, China, 2017.
- [10] MH. Rashid.(2003). "Power Electronic Handbook".

