

PERANCANGAN SISTEM PERAJANG TEMPE OTOMATIS DENGAN PENGATURAN KETEBALAN TEMPE MENGUNAKAN MOTOR *STEPPER* BERBASIS *P CONTROLLER*

Deri Risyandi^{*)}, Aris Triwiyatno, and Sumardi

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: *deri_risyandi@yahoo.com*

Abstrak

Dalam dunia Usaha Mandiri Kecil Menengah (UMKM) di Desa Semirejo Kabupaten Pati proses pemotongan tempe untuk dijadikan keripik tempe dilakukan menggunakan mesin pemotong tempe semi otomatis. Hasil yang dicapai dengan mesin ini kurang memenuhi harapan seperti bentuk hasil pemotongan, ketebalan produk yang tidak seragam, dan memakan banyak waktu. Penelitian ini merancang sebuah sistem yang dapat membantu pekerja dalam proses pemotongan tempe yaitu sebuah sistem perajang tempe otomatis dengan pengaturan ketebalan tempe menggunakan motor stepper berbasis P controller. Sistem ini menggunakan 4 motor yang terdiri dari 3 motor DC dan 1 motor AC. Pengujian alat menggunakan kontrol P, PI, dan PID. Pada hasil pengujian kontrol PI dan PID, sistem beresilasi sedangkan sistem stabil pada hasil pengujian kontrol P dengan nilai K_p yang digunakan adalah 1. Alat dapat memotong tempe dengan ketebalan 1 mm, 3 mm, dan 5 mm dengan masing-masing error sebesar 0,3 mm, 0,65 mm, dan 0,45 mm.

Kata kunci: Perajang tempe, Mikrokontroler ATmega16A, Kontrol PID

Abstract

In the world of Usaha Mandiri Kecil Menengah (UMKM) in Pati, Semirejo regency, slicing process tempe to be carried out using semi-automatic. The results achieved with this engine does not as the expectations, as shape incision results, product thickness is not uniform, and takes a lot of time. This study design a system that can help the workers in the process of cutting tempe using automatic chopper system that can set the thickness of the tempe with stepper motor using the PID controller. The system uses four motors consisting of 3 DC motors and 1 AC motor. The device was tested using P, PI, and PID controller. In the result of testing PI and PID controller, the sistem were osilating while sistem stable when using P controller with K_p value of 1. The device could slice tempe with thickness of 1 mm, 3 mm, and 5 mm and their respective error of 0.3 mm, 0.65 mm, and 0.45 mm.

Keywords: Tempe's slicer, Microcontroller ATmega16A, PID Controller.

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara produsen tempe terbesar di dunia dan menjadi pasar kedelai terbesar di Asia [1]. Dalam dunia Usaha Mandiri Kecil Menengah (UMKM) pengolahan tempe di Desa Semirejo Kabupaten Pati proses penyia dilakukan menggunakan mesin pemotong tempe semi otomatis yang mana masih terdapat campur tangan manusia didalam prosesnya. Hal ini tidak menjadi

masalah ketika jumlah tempe yang dipotong sedikit tetapi apabila tempe yang dipotong berjumlah besar maka akan memakan banyak waktu dan tenaga dalam proses pemotongan tempe tersebut.

Adanya penemuan baru dibidang teknologi adalah salah satu bukti bahwa kebutuhan umat manusia selalu bertambah dari waktu ke waktu disamping itu munculnya penemuan baru dilatar belakangnya oleh penggunaan tenaga manusia yang terbatas seperti halnya dalam UMKM keripik tempe yang mana proses pemotongan tempe

masih banyak dilakukan secara manual [2]. Oleh karena itu dirancnglah sebuah alat yang dapat membantu pekerja dalam proses pemotongan tempe secara otomatis yaitu sebuah alat perajang tempe otomatis serta dapat mengatur ketebalan tempe tersebut.

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan analisis terhadap mesin pengiris kentang spiral otomatis oleh Fauzi dan Arya M.S [3]. Penelitian lain juga telah merancang mesin pengiris singkong otomatis berbasis mikrokontroler AT89S51 oleh Dedy Artha Setyono [4]. Penelitian ini menghasilkan perangkat yang dapat melakukan pemotongan singkong secara otomatis dengan ketebalan yang dapat diatur dalam 3 pilihan.

Penelitian yang membahas tentang mesin pengiris tempe sudah sangat banyak dilakukan yaitu perancangan mesin pengiris tempe dengan sistem pisau berputar horizontal oleh Rofarsyam [5]. Pengembangan dari penelitian ini dilakukan oleh Kurniawan Wahyu Listyana [6]. Mesin yang dibuat oleh penulis ini dibuat dengan sistem otomatis yang dilengkapi dengan penutup pisau untuk menjaga keamanan operator. Penelitian lain juga telah membahas pembuatan mesin pengiris tempe pada bagian transmisi yang dilakukan oleh Yoga Eka Adisaputra [7]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat mesin pengiris tempe bagian transmisi dan mengetahui kapasitas kerja mesin pengiris tempe.

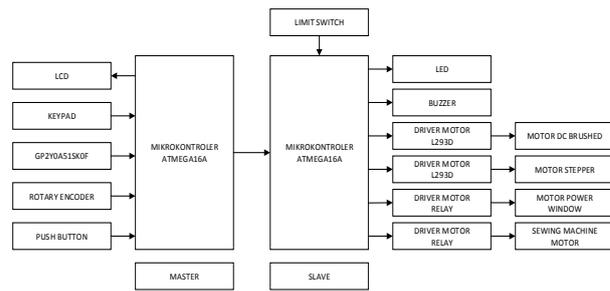
Dalam penelitian ini dirancang alat perajang tempe otomatis berbasis mikrokontroler Atmega16A. Alat perajang tempe otomatis ini didesain untuk mengiris tempe secara otomatis serta ukuran tempe dapat diatur dengan skala yang ditentukan. Alat ini menggunakan 4 motor yang terdiri dari motor *power window*, motor DC *brushed*, motor *stepper* dan motor AC.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang sistem otomasi alat perajang tempe otomatis berbasis mikrokontroler ATmega16A dengan kontroler PID serta dapat mengatur ketebalan tempe sesuai mode yang telah ditetapkan yaitu *low*, *medium*, dan *high* menggunakan sensor jarak Sharp GP2Y0A51SK0F sebagai umpan balik pada sistem.

2. Metode

2.1. Perancangan Sistem Secara umum

Secara umum perancangan sistem alat perajang tempe otomatis dapat dilihat pada Gambar 1. Sistem perajang tempe otomatis terbagi menjadi tiga bagian yaitu *input* *output*, kontrol PID, dan komunikasi serial. Sistem *input output* merupakan sistem pengiriman dan penerimaan data agar alat bekerja sesuai dengan keinginan. Sistem kontrol PID digunakan sebagai kontroler pada pengaturan ketebalan pemotongan tempe. Sistem komunikasi serial adalah sistem komunikasi antara kedua mikrokontroler yang digunakan sebagai *master* dan *slave*.



Gambar 1. Diagram sistem perajang tempe otomatis.

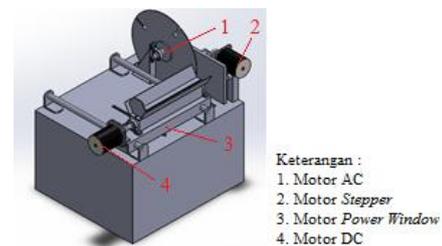
Berdasarkan diagram sistem perajang tempe otomatis pada Gambar 1 *input* yang digunakan pada perancangan alat perajang tempe otomatis ini adalah data dari sensor, *push button*, serta *keypad*. *Input* berupa nilai dari keluaran sensor serta masukan perintah dari *keypad* dan *push button*. Data masukan akan diolah pada mikrokontroler *master* dan dikirimkan ke mikrokontroler *slave* dengan menggunakan komunikasi serial untuk kemudian menggerakkan aktuator yang berupa motor AC, motor DC *brushed*, motor *stepper*, dan motor *power window*.

2.2. Perancangan Hardware

Perancangan perangkat keras (*Hardware*) dibagi menjadi perancangan mekanik, perangkat *input*, *output*, *power supply*, mikrokontroler, sensor, aktuator, dan kontroler. Berikut ini penjabaran dari perancangan perangkat keras yang menunjang penelitian ini.

2.2.1 Perancangan Mekanik

Perancangan mekanik alat perajang tempe otomatis pada Gambar 2 menggunakan sistem mekanik dengan 4 buah motor yaitu motor AC, motor DC, motor *power window*, dan motor *stepper*.

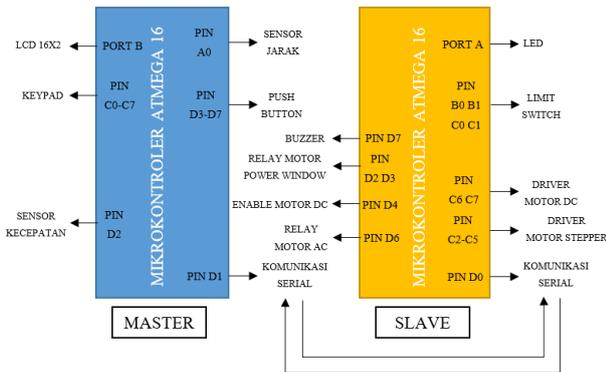


Gambar 2. Perancangan Mekanik Mesin Perajang Tempe Otomatis.

Dalam perancangan mekanik mesin perajang tempe otomatis ini, setiap motor akan bekerja saling terhubung. Kecepatan dari motor DC, motor AC, motor *power window*, dan motor *stepper* akan diatur agar dapat mengiris tempe sesuai dengan jenis ketebalan yang telah ditentukan.

2.2.2 Perancangan Sistem Mikrokontroler ATmega16A

Pada mesin perajang tempe otomatis ini digunakan dua buah mikrokontroler ATmega16A yang mana mikrokontroler master digunakan sebagai pusat kendali sistem dan mikrokontroler slave sebagai pembacaan sensor dan akuisisi data.

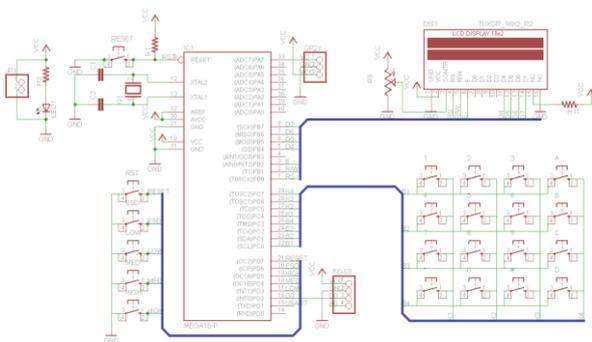


Gambar 3. Alokasi Port dan komunikasi serial pada sistem mikrokontroler ATmega16A.

Data yang dibaca oleh mikrokontroler akan dikirimkan menggunakan komunikasi serial melalui pin TX (D.1) pada mikrokontroler master sebagai transmitter menuju pin RX (D.0) pada mikrokontroler slave sebagai receiver. Pada Gambar 3 merupakan pengalokasian port-port pada kedua mikrokontroler yang akan digunakan sebagai pusat kendali dari mesin pengantjangan yang akan dirancang.

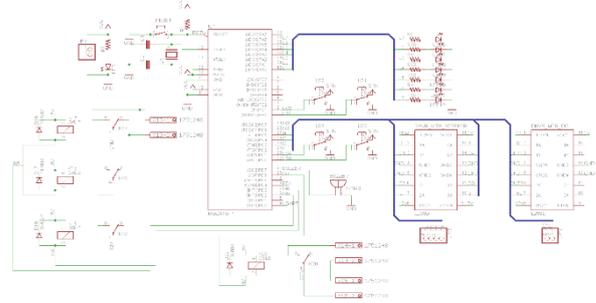
2.2.3 Perancangan Sistem Mikrokontroler Master dan Slave

Perancangan sistem mikrokontroler dalam sistem ini terdiri dari dua bagian yaitu perancangan sistem mikrokontroler master dan mikrokontroler slave. Pada rangkaian skematik pada Gambar 4 adalah perancangan sistem mikrokontroler secara keseluruhan sesuai dengan alokasi port yang telah ditentukan.



Gambar 4. Rangkaian skematik mikrokontroler master.

Rangkaian skematik mikrokontroler master terdiri dari keypad, lcd, push button, sensor GP2Y0A51SK0F, dan sensor encoder. Mikrokontroler master berfungsi sebagai pengendali utama proses dari sistem. Sedangkan pada Gambar 5 merupakan rangkaian skematik untuk mikrokontroler slave.

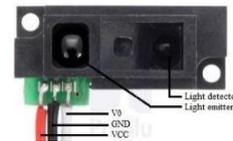


Gambar 5. Rangkaian skematik mikrokontroler slave.

Rangkaian skematik mikrokontroler slave, mikrokontroler slave berfungsi sebagai trigger dari semua aktuatur dari perintah mikrokontroler master. Mikrokontroler slave terdiri dari dimmer, limit switch, buzzer, LED, driver motor, dan driver relay.

2.2.4 Perancangan Sensor dan Akuisisi Data

Sensor yang dipakai adalah sensor jarak GP2YA05SK0F dengan dan sensor encoder jenis hall effect. Pada penelitian ini metode pengaksesan antarmuka sensor GP2YA05SK0F yang digunakan yaitu metode persamaan non-linier. Hal pertama yang dilakukan adalah mengkonfigurasi kaki-kaki pin sensor GP2YA05SK0F pada mikrokontroler seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Konfigurasi pin sensor GP2YA05SK0F.

Data yang diambil pada saat kalibrasi adalah jarak yang diukur dan nilai ADC yang terbaca oleh sensor GP2YA05SK0F. Hasil kalibrasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Data kalibrasi sensor GP2YA05SK0F.

ADC	1/ADC	Jarak (cm)
335	0,002985	2
265	0,003774	3
221	0,004525	4
191	0,005236	5
175	0,005714	6
155	0,006452	7

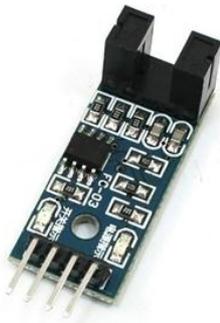
Tabel 1 (Lanjutan)

135	0,007407	8
119	0,008403	9
105	0,009524	10
99	0,010101	11
88	0,011364	12
84	0,011905	13
78	0,012821	14
72	0,013889	15

Setelah didapat data dari Tabel 1 diatas diperoleh persamaan korelasi dari data 1/ADC dengan jarak yang diukur oleh sensor GP2YA05SK0F. Dari persamaan korelasi tersebut diperoleh persamaan untuk menghitung jarak dari keluaran sensor GP2YA05SK0F.

$$Jarak = \left(\frac{1183}{data\ ADC} \right) - 1,1411 \quad (3.1)$$

Sedangkan untuk sensor putaran digunakan sensor rotary encoder. Sensor ini akan menghasilkan pulsa 0/1 sesuai dengan pembacaan lubang piringan encoder, rangkaian penghasil pulsa yang digunakan umumnya memiliki keluaran yang berubah dari +5V menjadi 0.5V ketika cahaya diblok oleh piringan dan ketika diteruskan ke photo-transistor.



Gambar 7. Sensor rotary encoder..

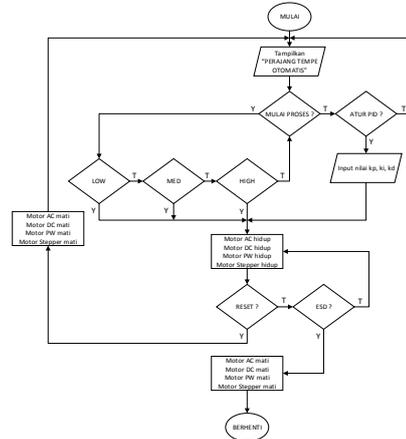
Pada penggunaannya, sensor ini membutuhkan satu pin interrupt untuk kalkulasi pulsa. Sedangkan untuk suplai tegangan 5V diperoleh dari paralel regulator. Keluaran sensor dihubungkan dengan pin D.2 pada mikrokontroler master. Hal ini dikarenakan, Pin D.2 merupakan pin interrupt yang dapat meng-interrupt sistem sesuai dengan kebutuhan.

2.3. Perancangan Software

Perancangan perangkat lunak (software) untuk sistem ini menggunakan bahasa C. walaupun pemograman mikrokontroler dapat dilakukan dengan berbagai bahasa, namun pemilihan bahasa C dikarenakan bahasa C mudah, sederhana, dan fleksibel untuk diprogram. Pada penelitian ini penggunaan kompilator untuk bahasa C ini adalah Code Vision AVR.

2.3.1 Perancangan Diagram Alir Sistem

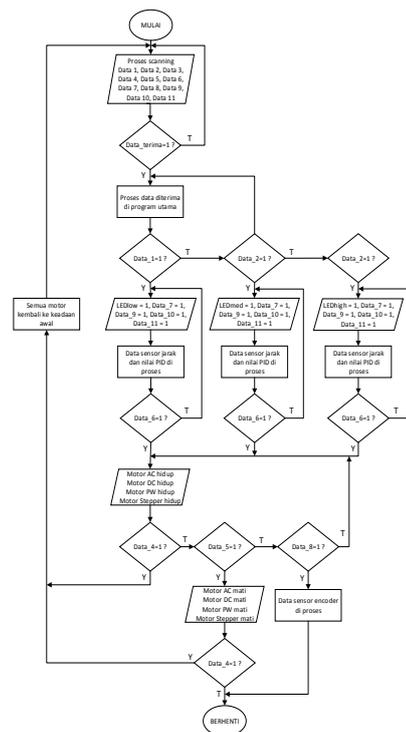
Dalam penelitian ini diagram alir yang dimaksud adalah alur jalannya program saat dijalankan. Diagram alir (flowchart) sistem pada Gambar 8 menunjukkan alur kerja sistem secara umum pada alat perajang tempe otomatis.



Gambar 8. Diagram alir sistem alat perajang tempe otomatis.

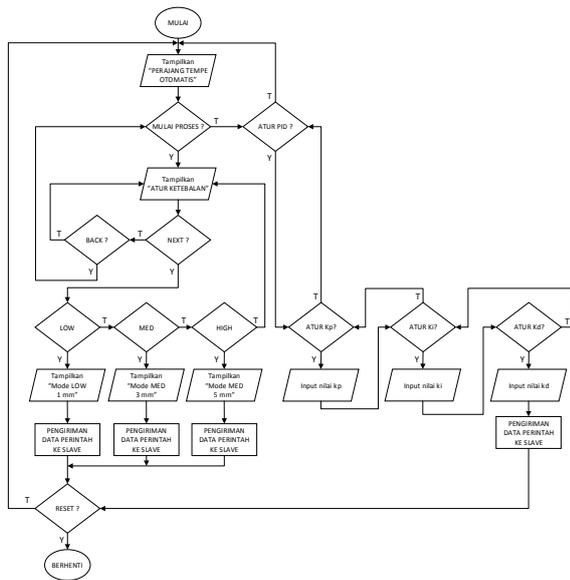
2.3.2 Perancangan Sistem Mikrokontroler Master dan Slave

Pada penelitian ini, sistem menggunakan dua buah mikrokontroler yaitu mikrokontroler master dan slave. Diagram alir sistem mikrokontroler slave dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram alir sistem mikrokontroler slave.

Mikrokontroler *slave* berfungsi menjalankan setiap perintah yang dikirimkan oleh mikrokontroler *master*. Semua proses pengaktifan aktuator sistem diolah dan dijalankan oleh mikrokontroler *slave* sesuai data dan perintah yang diterima. Sedangkan diagram alir mikrokontroler *master*. Selain berfungsi sebagai pengirim data masukan mikrokontroler *master* berfungsi menampilkan tampilan proses pada LCD. Pengiriman data mikrokontroler *master* ke mikrokontroler *slave* menggunakan komunikasi serial dengan menghubungkan *transmitter* (Tx) Pin D.1 mikrokontroler *master* ke *receiver* (Rx) Pin D.0 mikrokontroler *slave*.



Gambar 10. Diagram alir sistem mikrokontroler *master*.

3. Hasil dan Analisa

Pada penelitian tugas akhir tentang perancangan sistem perajang tempe otomatis dengan pengaturan ketebalan tempe menggunakan motor stepper berbasis P controller ini dilakukan beberapa pengujian sistem. Secara garis besar, pengujian pada sistem ini dibagi menjadi beberapa bagian pengujian yaitu, pengukuran catu daya, pengujian sensor jarak GP2Y0A5SK0F, pengujian sensor rotary encoder, pengujian keypad, pengujian push button, dan pengujian kontroler. Pengujian yang akan ditampilkan pada makalah ini adalah pengujian kontroler PID.

3.1. Pengujian kontroler PID

Pengujian dilakukan dengan melihat respon sistem untuk mengatur ketebalan dengan set point yang telah ditentukan menggunakan kontrol PID yang telah dibuat untuk mengirimkan sinyal perbaikan pada respon sistem. Pengujian terdiri dari pengujian tanpa tempe dan menggunakan tempe. Pengujian tanpa tempe digunakan untuk mencari parameter kontroler PID yang sesuai untuk

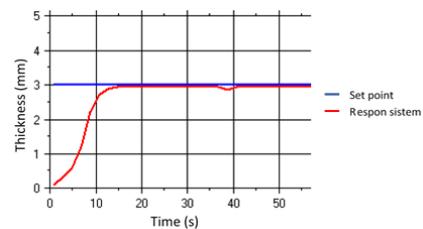
mengatur posisi holder dengan cara trial and error (manual tuning). Pengujian menggunakan tempe dilakukan menggunakan kontroler yang telah didapat dari hasil tuning.

3.1.1 Pengujian Tanpa Tempe

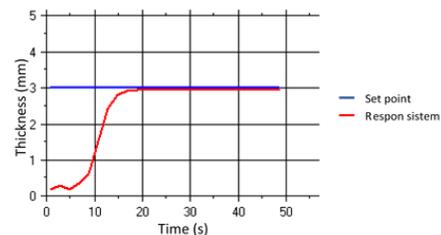
Pengujian tanpa tempe dilakukan untuk dapat menemukan respon sistem yang baik, sehingga diperlukan tuning nilai parameter gain PID yaitu K_p , K_i , dan K_d yang tepat terlebih dahulu. Pada pengujian yang dilakukan, penalaan parameter PID dilakukan dengan menggunakan metode trial and error, yaitu dengan melakukan variasi nilai parameter K_p , K_i , dan K_d secara acak sehingga didapatkan hasil yang kiranya terbaik. Proses pencarian parameter tersebut dimulai dari parameter P, kemudian PI, dan PID. Set point yang digunakan yaitu mode med dengan ketebalan sebesar 3 mm.

1. Kontroler P

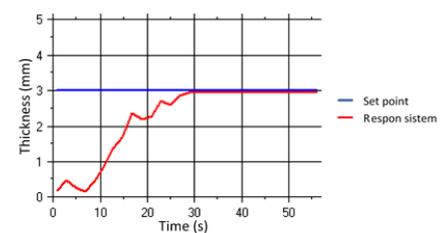
Pengujian sistem menggunakan kontroler P dilakukan dengan memberikan nilai gain proporsional yang bervariasi pada sistem.



Gambar 11. Respon sistem dengan $K_p = 1$.



Gambar 12. Respon sistem dengan $K_p = 5$.



Gambar 13. Respon sistem dengan $K_p = 10$.

Berdasarkan Gambar 11 sampai dengan Gambar 13. Dari respon sistem yang didapat, dapat diketahui nilai waktu

naik (t_r), waktu puncak (t_p), dan *settling time* (t_s). Data dari setiap respon sistem dapat dilihat pada Tabel 2.

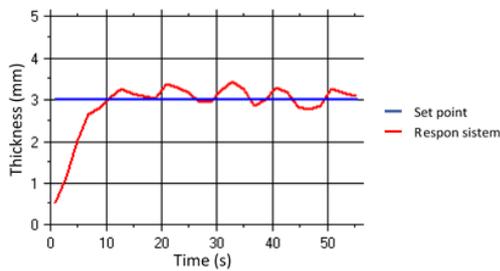
Tabel 2. Hasil waktu respon sistem parameter P.

No.	K_p	K_i	K_d	t_r (s)	t_p (s)	t_s (s)	Keterangan
1.	1	0	0	11	-	14	Stabil
2.	5	0	0	15	-	19	Stabil
3.	10	0	0	24	-	30	Stabil

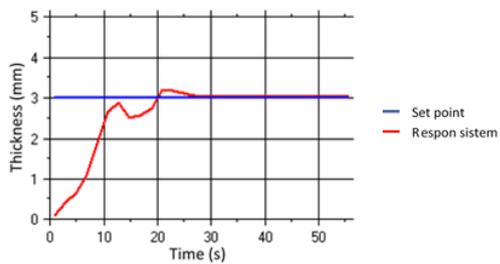
Dari hasil respon sistem, dapat diambil kesimpulan bahwa nilai *gain* terbaik adalah saat $K_p=1, K_i=0, K_d=0$. Pada saat parameter PID diberi nilai *gain* tersebut, sistem memiliki respon naik 11 detik, dan *settling time* sebesar 14 detik. Pada respon sistem ini tidak memiliki waktu puncak karena sistem tidak memiliki *overshoot*. Pada pengujian ini disimpulkan bahwa sistem sudah stabil menggunakan kontrol P dengan nilai K_p yang digunakan sebesar 1.

2. Kontroler PI

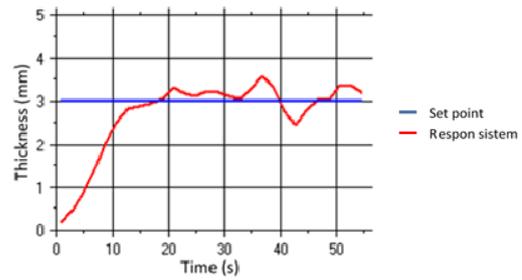
Pengujian selanjutnya dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter K_i dengan cara memberikan nilai K_p konstan yang telah didapat dan variasi nilai K_i pada sistem. Pengujian bertujuan menguji apakah parameter K_i dapat menghasilkan sistem yang lebih baik.



Gambar 14. Respon sistem dengan $K_p = 1$ dan $K_i = 0,1$.



Gambar 15. Respon sistem dengan $K_p = 1$ dan $K_i = 0,01$.



Gambar 16. Respon sistem dengan $K_p = 1$ dan $K_i = 0,05$.

Dari variasi nilai K_i yang diberikan pada Gambar 14 sampai dengan Gambar 16, didapat data berupa waktu naik (t_r), waktu puncak (t_p), dan *settling time* (t_s) yang ditunjukkan pada Tabel 3 dari respon sistem.

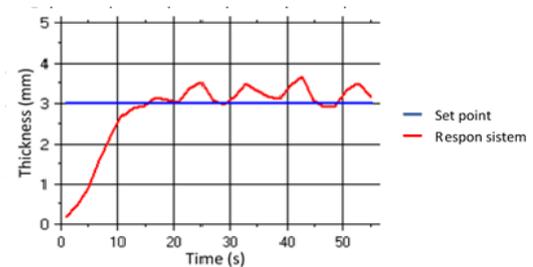
Tabel 3. Hasil waktu respon sistem parameter PI.

No.	K_p	K_i	K_d	t_r (s)	t_p (s)	t_s (s)	Keterangan
1.	1	0,1	0	9	-	-	Osilasi mendekati set point
2.	1	0,01	0	13	3,1	25	Stabil, terdapat sedikit overshoot
3.	1	0,05	0	12	-	-	Osilasi

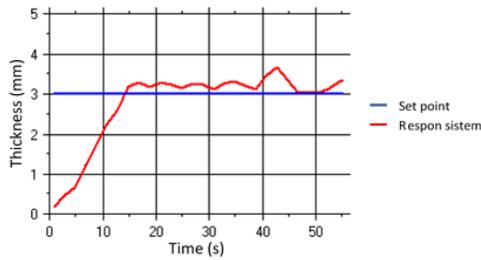
Dari data yang dihasilkan respon sistem, didapat hampir semua sistem berhasil, pada salah satu respon sistem dengan nilai K_p sebesar 1 dan K_i sebesar 0,01 sistem stabil namun masih terdapat osilasi dan *overshoot*. Dapat disimpulkan bahwa pemberian nilai K_i pada sistem mengakibatkan sistem berosilasi.

3. Kontroler PID

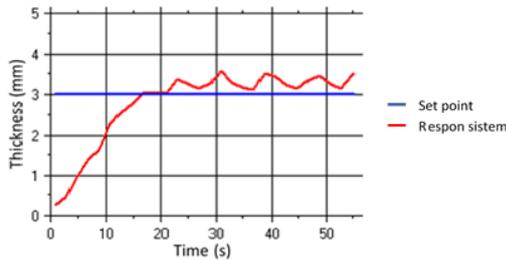
Pengujian kontroler PID digunakan untuk mengetahui apakah parameter K_d dapat memperbaiki sistem menjadi lebih baik. Pengujian dilakukan dengan memberikan nilai K_p dan K_i yang konstan kemudian memberikan nilai K_d yang bervariasi.



Gambar 17. Respon sistem dengan $K_p = 1, K_i = 0,01$, dan $K_d = 0,01$.



Gambar 18. Respon sistem dengan $K_p = 1$, $K_i = 0,01$, dan $K_d = 0,1$.



Gambar 19. Respon sistem dengan $K_p = 1$, $K_i = 0,01$, dan $K_d = 1$.

Setelah mendapatkan data grafik respon sistem pada Gambar 17 sampai dengan Gambar 19 didapat data respon sistem berupa waktu naik (t_r), waktu puncak (t_p), dan *settling time* (t_s) respon sistem. Data dari setiap respon sistem dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil waktu respon sistem parameter PID.

No.	K_p	K_i	K_d	t_r (s)	t_p (s)	t_s (s)	Keterangan
1.	1	0,01	0,01	11	-	-	Osilasi
2.	1	0,01	0,1	14	-	-	Osilasi sedikit
3.	1	0,01	1	16	-	-	Osilasi

Dapat diambil kesimpulan dari data yang diperoleh pada Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4 bahwa penambahan kontroler K_i dan K_d membuat sistem menjadi berosilasi. Setelah melakukan pengujian berdasarkan kontroler P, PI, dan PID, didapatkan kesimpulan bahwa kontroler P adalah kontroler yang cocok digunakan pada alat perajang tempe otomatis.

3.1.2 Pengujian Menggunakan Tempe

Pengujian sistem menggunakan tempe dilakukan dengan menggunakan kontroler yang telah diperoleh dari hasil *tuning* secara *trial and error*. Pengujian dilakukan dengan 3 mode yang ada yaitu mode *low*, mode *medium*, dan mode *high*. Data yang didapat dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Data hasil pengujian dengan tempe.

Mode	Ketebalan pemotongan (mm)			Rata-rata error (mm)
	Pertama	Kedua	Ketiga	
<i>Low</i>	1,3	1,3	-	0,3
<i>Medium</i>	2,2	2,5	-	0,65
<i>High</i>	4,4	4,7	-	0,45

Pada pengujian menggunakan tempe terdapat *error* ketebalan tempe pada setiap mode yang digunakan. Pada pemotongan tempe yang ketiga tempe tidak berhasil terpotong diakibatkan oleh motor pengiris tempe yang terhenti karena torsi yang dimiliki motor tersebut sangat kecil sehingga ketika motor diberi beban, kecepatan dan torsi menurun hingga motor berhenti.

4. Kesimpulan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kontroler P yang cocok digunakan untuk mengatur ketebalan tempe pada alat perajang tempe otomatis, karena penambahan nilai K_i dan atau K_d membuat sistem osilasi atau tidak stabil. Nilai K_p terbaik adalah 1 yang memberikan nilai *settling time* sebesar 14 detik. Rata-rata error ketebalan tempe pada mode *low* adalah 0,3 mm, mode *medium* adalah 0,65 mm, dan mode *high* adalah 0,45 mm.

Referensi

- [1] D. R. Sitepu and D. Syahputra, "Rancang Bangun Mesin Produksi Keripik Tempe," p. 15, 2014.
- [2] B. B. P. Simbolon, J. F. Sihombing, P. B. Panjaitan, and R. M. S., "Rancang Bangun Mesin Pengiris Tempe Kapasitas 30kg/jam," p. 12, 2013.
- [3] Fauzi and A. Mahendra Sakti, "Analisis Mesin Pengiris Kentang Spiral Otomatis," p. 7, 2014.
- [4] D. A. Setyono, "Rancang Bangun Sistem Pengiris Singkong Otomatis Berbasis Mikrokontroler AT89S51," p. 6, 2008.
- [5] Rofarsyam, "Rancang Bangun Mesin Pengiris Tempe Sistem Pisau Berputar Horizontal," p. 7.
- [6] K. Wahyu Listyana, "Perancangan Mesin Pengiris Tempe Dengan Kapasitas 60 Irisan/Menit," p. 13, 2014.
- [7] Y. Eka Adisaputra, "Rancang Bangun Mesin Pengiris Tempe (Sistem Transmisi)," p. 8, 2015.
- [8] W. Shurtleff and A. Aoyagi, *The Book of Tempeh*, 2nd ed. California, 2001.