

Implementasi Metode Pid untuk Mengontrol Posisi Motor Servo pada Sistem Sortir Berat Adonan

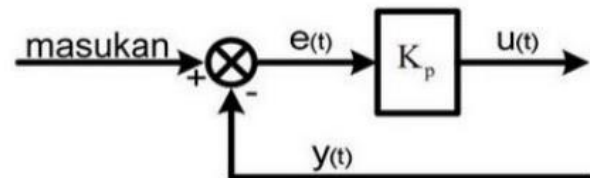
Mohammad Irfa'anul Ma'arif, Fauzi Imaduddin Adhim, dan Fivitria Istiqomah
Teknik Elektro Otomasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: fauzi@eea.its.ac.id

Abstrak—Pada era sekarang masih banyak industri roti yang masih melakukan proses produksi secara manual. Salah satunya yaitu proses yang terjadi pada pemilahan berat adonan setelah dilakukan pemotongan. Proses pemotongan adonan yang masih dilakukan secara manual terdapat banyak kekurangan, diantaranya berupa potongan adonan yang tidak sesuai dengan klasifikasi berat. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dibutuhkan proses pemilahan berat potong adonan. Tetapi proses pemilahan yang terdapat pada industri masih dilakukan secara manual, sehingga pada proses pemilahan berat potong adonan memiliki tingkat kesalahan atau human error yang cukup tinggi. Pada proyek akhir ini dibuat alat berupa mesin sortir berat adonan yang menggunakan sensor loadcell sebagai pembaca berat, sensor infrared sebagai penghitung objek dan motor servo serta sebagai aktuator sistem sortir. Implementasi kontrol PID pada sistem sortir berat adonan tersebut guna menjaga tingkat akurasi pemilahan dengan cara mengontrol sudut putar atau posisi dari motor servo penggerak lengan pemilah agar sesuai dengan set point. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang tinggi dengan diterapkannya metode PID terhadap posisi lengan pemilah pada sistem sortir. Hal tersebut dibuktikan dengan tidak terjadinya kesalahan pemilahan ketika dilakukan ujicoba dengan berat objek yang variatif. Dengan adanya alat ini dapat meningkatkan efisiensi dan meminimalisir kesalahan pemilahan berat adonan yang terjadi pada Industri Rosmita Bakery.

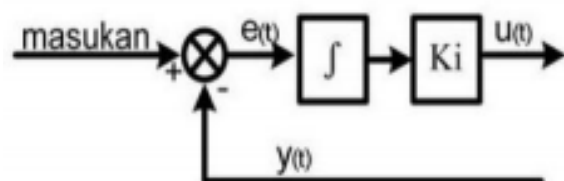
Kata Kunci—Metode PID, Konveyor, Counter dan Sistem Sortir.

I. PENDAHULUAN

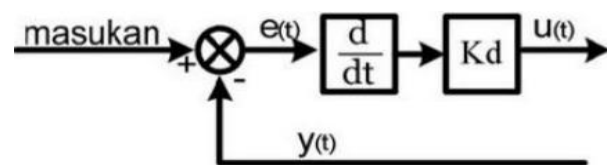
SEIRING dengan perkembangan teknologi saat ini yang dapat memudahkan serta mempercepat pekerjaan, manusia dituntut untuk agar selalu kreatif dalam mengembangkan teknologi di segala aspek kehidupan tak terkecuali dalam dunia industri. Otomasi dalam industri dilakukan untuk mengurangi kesalahan manusia (*Human Error*), karena sifat alami manusia yang cenderung menjadi lelah dan tidak presisi ketika melakukan pekerjaan secara terus-menerus dalam jangka waktu yang lama. Saat ini, industri berusaha mengganti pekerjaan yang selama ini dilakukan oleh manusia untuk digantikan dengan mesin-mesin dalam rangka peningkatan efisiensi dan peningkatan kualitas produksinya. Misalnya, proses produksi yang awalnya masih dilakukan secara manual seperti pada proses pemilahan atau sortir. Pada proses industri secara manual dikerjakan oleh manusia dan membutuhkan jumlah tenaga kerja yang tidak sedikit serta membuat proses produksi tersebut menjadi lebih lama. Selain itu tingkat terjadinya *human error* yang cukup tinggi pada industri manual yang disebabkan oleh faktor kelelahan akibat bekerja secara terus-menerus dalam jangka waktu yang lama. Untuk mengatasi masalah tersebut, perusahaan yang menginginkan proses



Gambar 1. Kontrol Proporsional.



Gambar 2. Kontrol Integral.



Gambar 3. Kontrol Derivative.

produksi yang lebih efektif dan efisien melakukan perubahan pola produksi dengan menerapkan sistem otomasi dalam produksinya.

Saat ini, dunia tengah memasuki era revolusi industri 4.0 atau revolusi industri dunia ke-empat. Revolusi industri 4.0 sudah memasuki dunia digitalisasi sistem industri, yang menekankan pada digital, *artificial intelligence*, dan *robotic*. Revolusi ini mendorong sistem otomatisasi dalam suatu proses, dan menekankan integrasi antar alat menggunakan internet. Data pada proses produksi dimasukkan dalam sistem digital, sehingga dapat diakses di mana pun untuk mempermudah pencatatan hasil produksi.

Salah satunya topik yang sedang dikembangkan dan sering di aplikasikan pada industri pembuatan kue kering adalah mesin dan mesin sortir atau mesin pemilah. Mesin sortir adalah suatu alat yang berfungsi memilah barang atau objek berdasarkan klasifikasi masing-masing (berat, warna, atau bentuk). mesin sortir dapat melakukan pekerjaannya dalam jumlah yang banyak dan berkelanjutan, sehingga mampu meminimalisir terjadinya kesalahan dalam proses tersebut yang biasanya dikerjakan oleh manusia (*human error*). Selain itu dengan adanya mesin tersebut juga dapat memangkas waktu produksi yang diperlukan.

Pada proyek akhir ini akan dibuat rancang bangun mesin sortir adonan berdasarkan klasifikasi berat. Mesin sortir tersebut ditujukan untuk meningkatkan efisiensi produksi pada proses pemilahan berat adonan. Dimana pada proses tersebut sangat berpengaruh terhadap kualitas produk yang

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Proses Sortir

Proses sortir merupakan suatu proses pemilahan terhadap objek sesuai dengan yang ditentukan. Pada industri roti proses sortir sering digunakan pada proses produksinya guna mendapatkan kualitas roti yang baik atau sesuai dengan yang diharapkan. Selain itu pemilahan pada industri roti juga dapat meningkatkan keuntungan dengan cara meminimalisir kesalahan berat pada pembagian setiap adonan.

Efisiensi yang diharapkan dari adanya mesin sortir dapat memangkas biaya produksi yang tepatnya pada proses pemilahan. Karena pada awalnya pada industri Rosmita Bakery masih manual dalam proses pemilahan berat adonan roti. Penggunaan proses sortir secara manual juga masih dirasa sangat kurang efisien dan tingginya tingkat kesalahan yang dapat terjadi. Kesalahan dapat terjadi diakibatkan proses pemilahan yang dilakukan secara terus-menerus dalam jumlah banyak dapat menyebabkan menurunnya fokus. Dalam rancang alat ini adonan yang telah dibagi atau dipotong-potong akan menjadi objek sortir, dimana adonan tersebut akan dibedakan berdasarkan berat [1].

B. Pengendali PID

Pengendali *proportional* atau *gain* bertindak sebagai penguat yang mampu mengubah *output* dari sistem secara proporsional tanpa memberikan efek dinamik pada kinerja pengendali tersebut seperti yang ditunjukkan Gambar 1 [2]. Respon dari pengendali proporsional dapat dinyatakan dengan persamaan 1 sebagai berikut:

$$u(t) = K_p e(t) \tag{1}$$

Keterangan:

K_p = gain proportional

e = error

u = nilai keluaran relatif terhadap waktu (t).

Pengendali *integral* atau reset merupakan pengendali yang mampu untuk memperbaiki respon tunak atau *steady state* dari sistem, sehingga pengendali ini mampu memperkecil *error system* seperti yang ditunjukkan Gambar 2. Respon dari pengendali integral dapat dinyatakan dalam persamaan 2 sebagai berikut:

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \tag{2}$$

Keterangan:

K_i = gain integral

e = error

u = nilai keluaran relatif terhadap waktu (t).

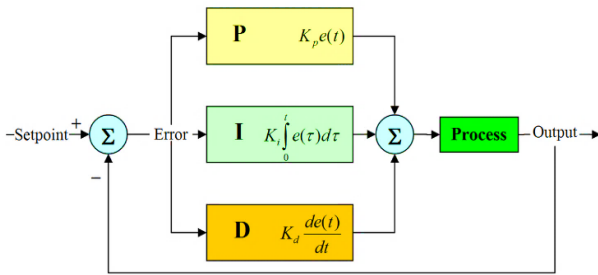
Besar output dari pengontrol *derivative* memiliki sifat seperti operasi diferensial pada umumnya. Pengontrol *derivative* menggunakan kecepatan perubahan sinyal kesalahan sebagai parameter pengontrol. Apabila tidak ada perubahan sinyal error, maka output dari kontrol *derivative* tidak akan berubah seperti yang ditunjukkan Gambar 3. Respon dari pengendali *derivative* dapat dinyatakan dalam persamaan 3 sebagai berikut:

$$u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \tag{3}$$

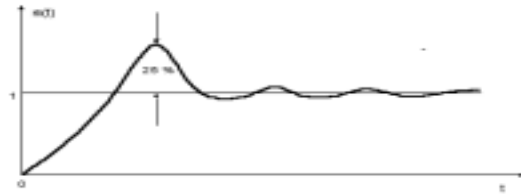
Keterangan:

K_d = gain derivatif

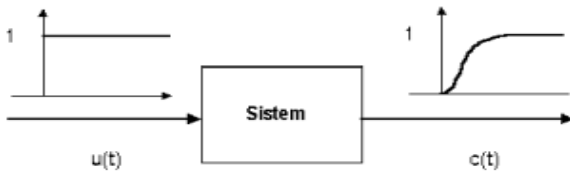
e = error



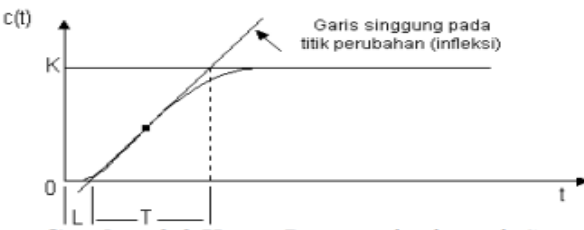
Gambar 4. Diagram Blok Kontrol PID.



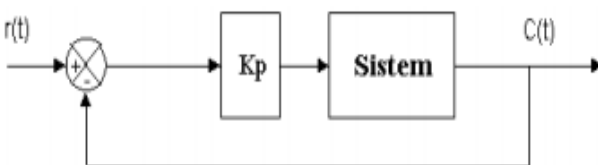
Gambar 5. Kurva respons tangga satuan yang memperlihatkan 25% lonjakan maksimum.



Gambar 6. Respon Tangga Satuan Sistem.



Gambar 7. Kurva Respon Berbentuk S.



Gambar 8. Untaian Tertutup dengan Kontrol Proporsional.

akan diproduksi apabila terjadi kesalahan potong yang berupa kelebihan berat (*Over Weight*). Selain itu pada rancang bangun mesin sortir adonan ini juga dilengkapi dengan sistem counter filling. penambahan sistem counter filling ditujukan agar mesin nantinya dapat diatur jumlah adonan yang mengisi wadah atau loyang. Sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan industri.

Selain hal perancangan alat untuk meningkatkan proses produksi terutama pada proses pemilahan berat adonan. Pada proyek akhir ini juga ditambahkan interface yang dapat membantu operator dalam monitoring data. Interface tersebut berupa LCD yang terpasang pada bagian box control. Selain berfungsi sebagai penampil data, LCD tersebut juga dapat digunakan sebagai media penampil program menu. Pada program menu tersebut disediakan menu pengatur nilai counter, sehingga dapat diatur sesuai dengan keinginan tanpa harus merubah program.

Tabel 1.

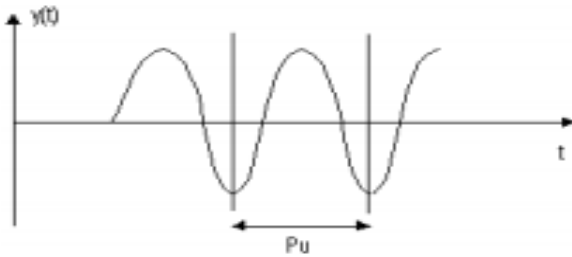
Penalaan Parameter PID dengan Metode Kurva Reaksi

Tipe Kontroler	Kp	Ti	Td
P	T/L	-	0
PI	0,9 T/L	L/0,3	0
PID	1,2 T/L	2L	0,5L

Tabel 2.

Penalaan Metode PID dengan Metode Osilasi

Tipe Kontroler	Kp	Ti	Td
P	0,5 Ku	-	-
PI	0,45 Ku	0,5 Pu	-
PID	0,6 Ku	0,5 Pu	0,125 Pu



Gambar 9. Kurva Respon Sustain Oscillation.

u = nilai keluaran relatif terhadap waktu (t).

Pengendali PID merupakan hasil dari penggabungan tiga komponen yaitu *proportional*, *integral* dan *derivative* yang dapat dipakai secara bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang diinginkan pada suatu sistem atau *plant* seperti yang ditunjukkan Gambar 4. Dari masing-masing pengendali yang telah dijelaskan, sehingga dapat ditarik persamaan dari pengendali PID sebagai berikut:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (4)$$

Keterangan:

- u(t) = sinyal *output* pengendali PID
- Kp = konstanta proporsional
- Ki = konstanta integral
- Kd = konstanta derivative
- e(t) = sinyal *error*

C. Menentukan Parameter PID

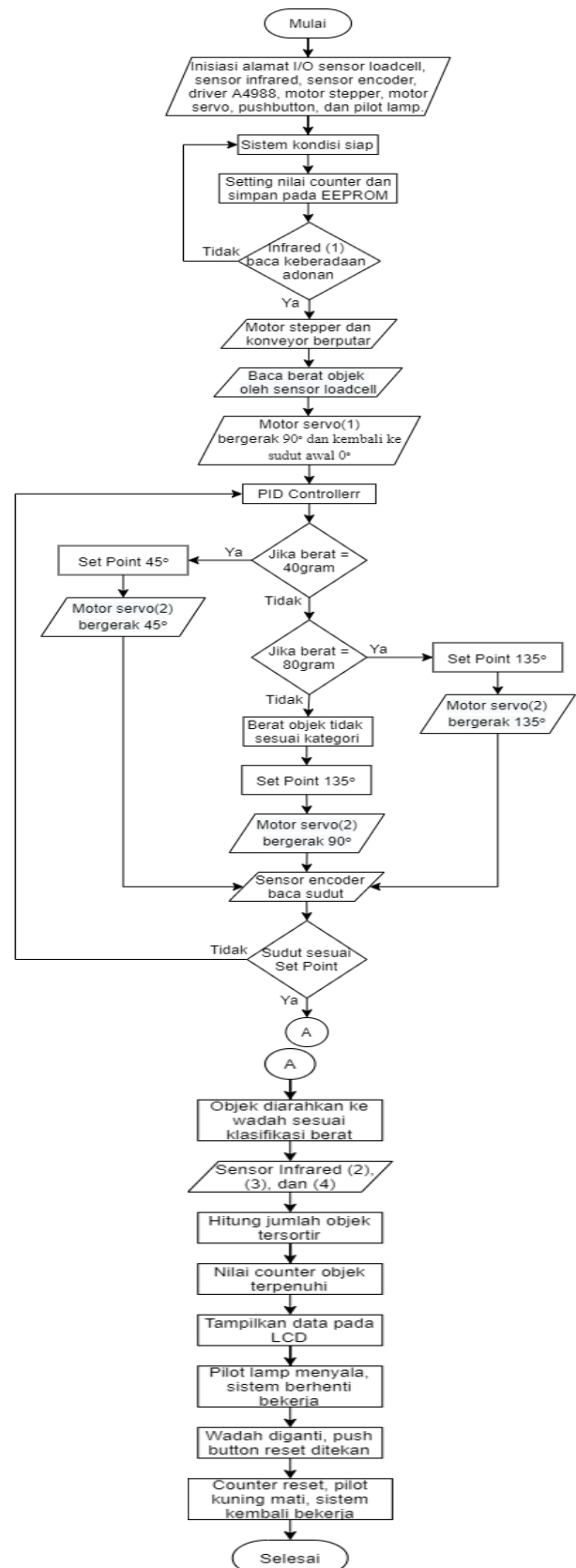
Penalaan parameter kontroler PID selalu didasari atas tinjauan terhadap karakteristik yang diatur (Plant). Untuk menentukan parameter kontroler PID digunakan suatu metode yaitu metode Ziegler Nichols [2].

D. Metode Ziegler-Nichols

Ziegler-Nichols pertama kali memperkenalkan metodenya pada tahun 1942. Metode ini memiliki dua cara, metode osilasi dan kurva reaksi. Kedua metode ditujukan untuk menghasilkan respon sistem dengan lonjakan maksimum sebesar 25%. Gambar 5 menunjukkan kurva dengan lonjakan 25% [2].

E. Metode Kurva Reaksi

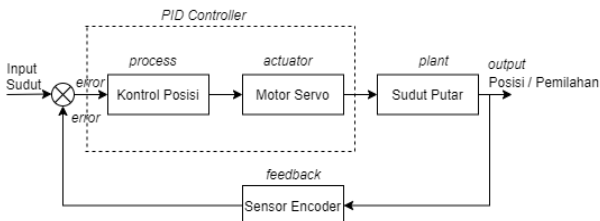
Metode ini didasarkan terhadap reaksi sistem untai terbuka. Plant sebagai untai terbuka dikenai sinyal fungsi tangga satuan. Gambar 6 menunjukkan plant minimal tidak mengandung unsur integrator ataupun pole-pole kompleks, reaksi sistem akan berbentuk S. Gambar 7 menunjukkan kurva berbentuk S tersebut. Kelemahan metode ini terletak



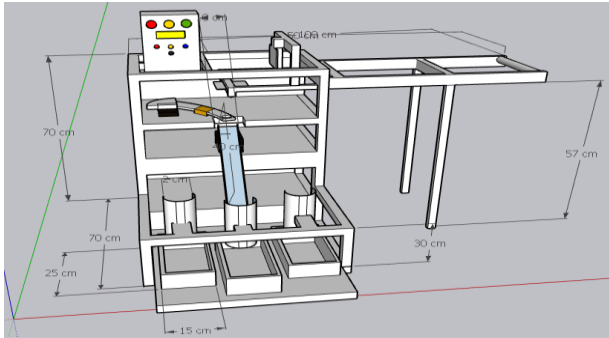
Gambar 10. Flowchart Sistem.

pada ketidakmampuannya untuk plant integrator maupun plant yang memiliki pole kompleks [2].

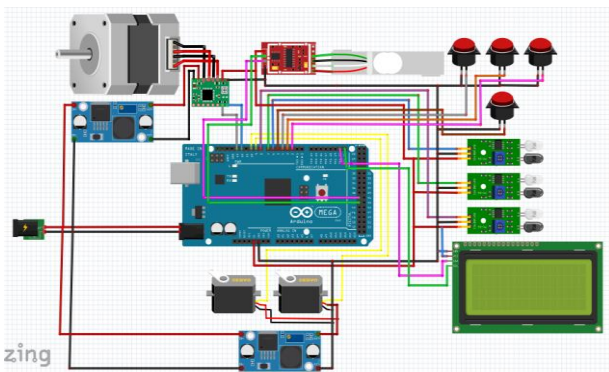
Kurva berbentuk-S mempunyai dua konstanta, waktu mati (dead time) L dan waktu tunda T. Dari Gambar 7 terlihat bahwa kurva reaksi berubah naik, setelah selang waktu L. Sedangkan waktu tunda menggambarkan perubahan kurva



Gambar 11. Diagram Blok Sistem Kendali Posisi.



Gambar 12. Desain Perangkat Keras.



Gambar 13. Desain Perangkat Elektronika.

setelah mencapai 66% dari keadaan mantapnya. Pada kurva dibuat suatu garis yang bersinggungan dengan garis kurva. Garis singgung itu akan memotong dengan sumbu absis dan garis maksimum. Perpotongan garis singgung dengan sumbu absis merupakan ukuran waktu mati, dan perpotongan dengan garis maksimum merupakan waktu tunda yang diukur dari titik waktu L.

Penalaan PID didasarkan perolehan kedua konstanta itu. Ziegler dan Nichols melakukan eksperimen dan menyarankan parameter penyetelan nilai K_p , T_i , dan T_d dengan didasarkan pada kedua parameter tersebut. Tabel 1 merupakan perumusan penalaan parameter PID berdasarkan cara kurva reaksi.

F. Metode Osilasi

Metode ini didasarkan pada reaksi sistem untai tertutup. Plant disusun serial dengan kontroler PID. Semula parameter integrator disetel tak berhingga dan parameter diferensial disetel nol ($T_i = \infty$; $T_d = 0$). Parameter proporsional kemudian dinaikkan bertahap. Mulai dari nol sampai mencapai harga yang mengakibatkan reaksi sistem berosilasi. Reaksi sistem harus berosilasi dengan magnitud tetap (Sustain oscillation). Gambar 8 menunjukkan rangkaian untai tertutup pada cara osilasi [2].

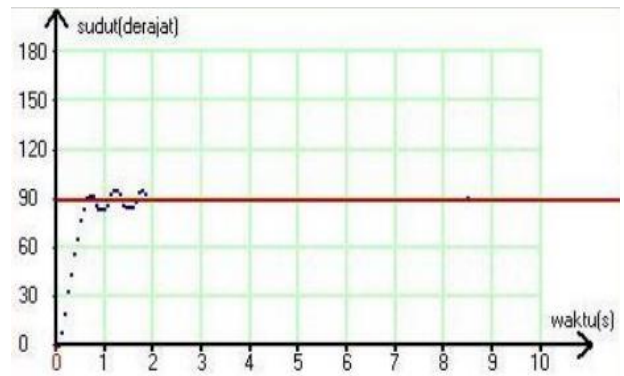
Nilai penguatan proporsional pada saat sistem mencapai kondisi sustain oscillation disebut ultimate gain K_u . Periode dari sustained oscillation disebut ultimate period T_u Gambar

Tabel 3.
Penalaan Parameter PID dengan Metode Osilasi

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	0,5 K_u	-	-
PI	0,45 K_u	0,5 T_u	-
PID	0,6 K_u	0,5 T_u	0,125 T_u

Tabel 4.
Hasil Perhitungan Parameter PID dengan Metode Osilasi

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	2	-	-
PI	1,8	0,3	-
PID	2,4	0,3	0,075



Gambar 14. Respon Saat $K_u = 4$.

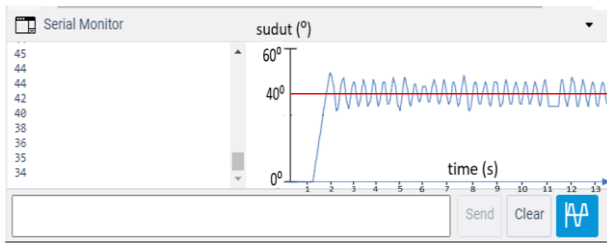
9 menggambarkan kurva reaksi untai tertutup ketika berosilasi.

Penalaan parameter PID didasarkan terhadap kedua konstanta hasil eksperimen, K_u dan T_u . Ziegler dan Nichols menyarankan penyetelan nilai parameter K_p , T_i , dan T_d berdasarkan rumus yang diperlihatkan pada Tabel 2.

III. PERANCANGAN SISTEM

A. Flowchart Sistem

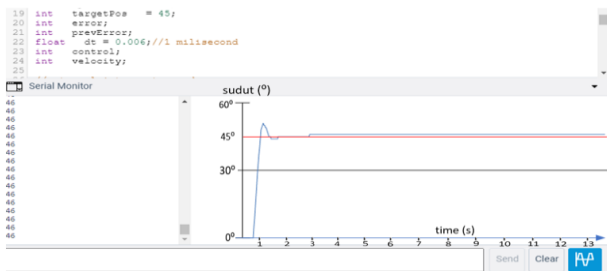
Dari flowchart sistem pada Gambar 10 dapat diketahui bahwa sistem dimulai dengan inisiasi beberapa sensor dan juga actuator. Setelah dilakukan inisiasi, maka selanjutnya sistem akan dalam keadaan siap bekerja. Tahap selanjutnya sistem dilakukan pengaturan atau pemasukan nilai counter pada program menu yang telah disediakan dan ditampilkan pada LCD. Untuk mengatur nilai counter pada program menu yaitu dengan menekan 3 push button setting yang ada pada box panel. Dimana push button tersebut memiliki fungsi yang berbeda-beda. Push button pertama berfungsi sebagai push button down, Push button kedua berfungsi sebagai push button setting atau oke, dan Push button ketiga berfungsi sebagai push button up. Sedangkan untuk push button yang ke empat berfungsi sebagai push button start dan stop motor stepper konveyor secara manual, yaitu dengan cara tombol tersebut ditekan secara langsung. Setelah melakukan pengaturan pada program setting, maka infrared satu yang terletak di ujung konveyor akan membaca keberadaan objek atau tidak. Ketika sensor infrared ke-satu membaca keberadaan objek maka sistem akan berlanjut bekerja, yang ditandai dengan berputarnya motor stepper yang menggerakkan belt konveyor. Sedangkan ketika sensor infrared yang ke-satu tidak membaca keberadaan objek maka sistem akan kembali dalam keadaan siap. tahap selanjutnya konveyor yang berputar tersebut membawa objek berupa potongan adonan hingga jatuh diatas sensor load cell.



Gambar 15. Respon Sistem Tanpa Kontroler.

Tabel 5. Nilai Tanggapan Waktu Tanpa Kontroler SP 45°

Parameter	Nilai
Delay Time	1.5 s
Rise Time	1.8 s
Peak Time	2.1 s
Settling Time	-
Osilasi	Ya
Overshoot	20%
Error Steady State	Ya

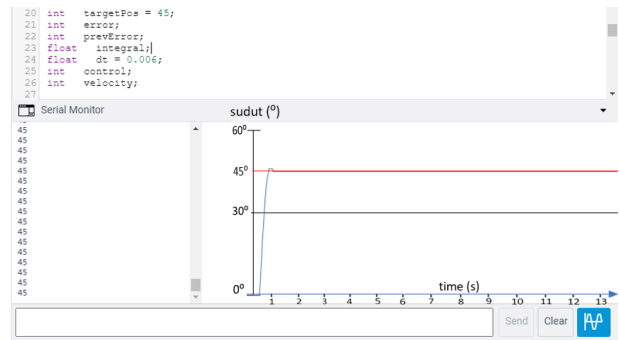


Gambar 16. Pengujian Kontrol P Target Posisi 45°.

Tabel 6. Tanggapan Waktu Kontrol P dengan SP 45°

Parameter	Nilai
Delay Time	0.95 s
Rise Time	1.05 s
Peak Time	1.17 s
Settling Time	2.95
Osilasi	-
Overshoot	15.56%
Error Steady State	1.11%

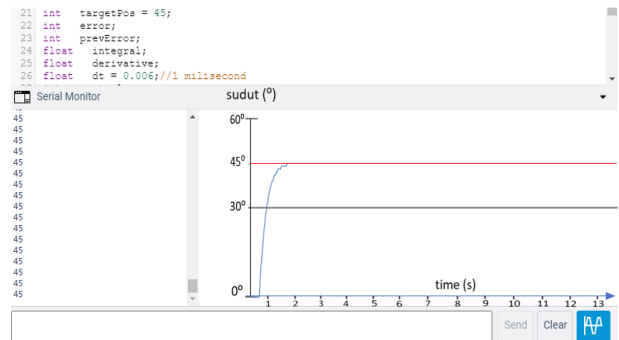
Potongan adonan tersebut dilakukan pembacaan berat oleh sensor *load cell* yang kemudian diteruskan ke Arduino Mega 2560. Data tersebut akan diolah oleh Arduino Mega dan akan diidentifikasi apakah sesuai dengan klasifikasi berat yang ditentukan atau tidak. Ketika sensor *loadcell* tersebut membaca adanya berat objek, maka otomatis servo ke-satu pendorong akan bersiap bekerja mendorong objek menuju lengan pemilih dengan delay selama 3 detik. Sudut putar dari motor servo pendorong untuk mendorong objek yaitu bergerak dari 0° menuju 90° dan ketika selesai mencapai sudut 90° maka servo akan kembali ke sudut awal 0°. Selanjutnya PID kontroler akan mengatur sinyal keluaran PWM yang diberikan terhadap motor servo kedua. Selanjutnya motor servo kedua diberikan nilai *set point* dan bergerak dengan sudut putar yang sesuai dengan hasil pembacaan klasifikasi berat objek. Sudut putar dari motor servo yang kedua berdasarkan hasil pengukuran berat adonan yang dilakukan oleh *loadcell*, data tersebut diolah oleh Arduino Mega 2560 dan diteruskan ke motor servo kedua berupa perintah besaran sudut putar atau target posisi. Kemudian posisi motor servo kedua yang berfungsi sebagai penggerak lengan pemilih dilakukan pembacaan oleh sensor posisi atau encoder. Hasil pembacaan posisi tersebut akan dijadikan sebagai feedback sistem, yang berfungsi sebagai



Gambar 17. Pengujian Kontrol PI Target Posisi 45°.

Tabel 7. Tanggapan Waktu Kontrol PI dengan SP 45°

Parameter	Nilai
Delay Time	1.65s
Rise Time	0.92 s
Peak Time	0.98 s
Settling Time	1.08 s
Osilasi	-
Overshoot	0.22%
Error Steady State	-



Gambar 18. Pengujian kontrol PID Target Posisi 45°.

Tabel 8. Tanggapan Waktu Kontrol PID dengan SP 45°.

Parameter	Nilai
Time Delay	0.98 s
Rise Time	1.55 s
Peak Time	-
Settling Time	1.82 s
Osilasi	-
Overshoot	-
Error Steady State	-

sinyal perbaikan terhadap output yang tidak sesuai dengan set point yang diberikan. Sehingga dapat diketahui apakah posisi motor servo yang menggerakkan lengan pemilih sesuai dengan set point atau tidak. apabila tidak sesuai dengan set point maka akan dikembalikan pada kontrol PID untuk dilakukan perbaikan. Apabila posisi motor servo yang menggerakkan lengan pemilih sesuai dengan set point yang telah ditetapkan maka objek akan diarahkan ke wadah masing-masing berdasarkan klasifikasi berat nya. Masing-masing objek tersebut nantinya akan melewati sensor infrared terlebih dahulu sebelum jatuh ke wadah. Dimana sensor infrared tersebut berjumlah 3 yang berfungsi sebagai penghitung jumlah objek dan penghitung nilai *counter* objek. Nilai hasil perhitungan objek nantinya ditampilkan pada LCD. Ketika nilai *counter* dalam kondisi habis atau 0, maka sistem akan berhenti bekerja dan pilot lamp yang berfungsi sebagai indikator akan menyala. Sehingga perlu dilakukan reset *counter* dengan cara menekan tombol reset yang berada pada box kontrol. Selain itu wadah penampung objek juga

Tabel 9.
Penguujian Performa Sistem Sortir

No	Berat Objek diketahui (g)	Pembacaan Berat Objek (g)	Sudut Pemilahan	Klasifikasi Berat Objek
1	20	20,04	90°	Reject
2	20	20,12	90°	Reject
3	40	40,05	45°	Objek 1
4	40	40,02	45°	Objek 1
5	60	60,07	90°	Reject
6	60	60,11	90°	Reject
7	80	80,04	135°	Objek 2
8	80	80,13	135°	Objek 2
9	100	100,14	90°	Reject
10	100	100,06	90°	Reject

perlu diganti dengan wadah kosong, karena wadah tersebut telah terpenuhi isinya sesuai dengan nilai counter. Setelah dilakukan reset counter, sistem akan kembali bekerja dan pilot lamp akan mati.

Pada alat tersebut ditambahkan sistem kendali PID yang akan membantu meningkatkan efektifitas alat dan juga mempercepat kestabilan sistem untuk mencapai *setpoint* yang ditentukan. Pada penelitian ini PID digunakan untuk meningkatkan performa dari motor servo penggerak lengan pemilah.

B. Diagram Blok Sistem Kendali Posisi

Pada diagram blok Gambar 11 dapat dilihat, bahwa input dari sistem berupa sudut yang kemudian diolah oleh kontrol posisi. Pada kontrol posisi tersebut telah digunakan metode PID. Input dari sistem tersebut berupa target posisi atau sudut. Pada kontrol posisi digunakan metode kontrol PID. Penggunaan metode kontrol PID tersebut bertujuan untuk mengendalikan posisi atau sudut putar dari servo agar lebih baik dan akurat. Kontrol PID akan menentukan sinyal keluaran PWM yang akan diberikan terhadap motor servo yang bertindak sebagai penggerak dari lengan pemilah sistem sortir. Data pengendalian dari kontrol posisi akan diteruskan menuju motor servo untuk dilakukan eksekusi berupa perintah gerak atau sudut putar sesuai dengan *set point* yang ditentukan. Untuk pembacaan posisi digunakan sensor encoder, dimana hasil pembacaan posisi akan dijadikan sebagai *feedback* dari sistem, sehingga *error* posisi dapat dilakukan perbaikan oleh sistem. Output yang dihasilkan berupa posisi atau sudut putar dari motor servo yang menggerakkan lengan pemilah pada sistem sortir.

C. Desain Perangkat Keras

Dari Gambar 12 dapat dilihat dimensi dari mekanik yang dirancang. Pembuatan dan perancangan desain dimensi mekanik tersebut didasarkan perhitungan terhadap objek yang dilakukan proses pemilahan berat. Sehingga dapat mempermudah dalam melakukan pembuatan mekanik dan dapat meminimalisir terjadinya kesalahan dalam pembuatan mekanik berupa ukuran yang kurang presisi.

D. Desain Perangkat Elektronika

Dapat dilihat pada Gambar 13, semua komponen yang digunakan dirangkai menjadi satu rangkaian yang utuh. Untuk mikrokontroler yang digunakan pada rangkaian tersebut yaitu Arduino Mega 2560. Kemudian pada rangkaian tersebut terdapat beberapa sensor yang berfungsi sebagai pembacaan terhadap objek. Terdapat sensor *loadcell* yang berfungsi sebagai pembaca berat adonan. Selanjutnya pada

rangkain tersebut juga terdapat sensor *infrared* berjumlah 3 yang berfungsi sebagai penghitung adonan yang telah dilakukan proses pemilahan. Pada rangkaian tersebut terdapat *button* yang berfungsi sebagai pengatur atau setting variabel *counter*, selain itu *button* juga berfungsi untuk menjalankan panah atau cursor pada program menu agar dapat memilih menu sesuai dengan kebutuhan. Untuk penggerak dari sistem digunakan dua jenis motor, yaitu motor stepper berjumlah 1 dan motor servo berjumlah 2. Untuk motor stepper digunakan sebagai penggerak konveyor. Motor stepper tersebut juga dilengkapi dengan driver A4988 yang berfungsi untuk mengendalikan banyaknya step per revolution dari motor stepper, selain itu juga berfungsi untuk mengatur kecepatan dan arah putaran dari motor stepper. Sedangkan 2 motor servo yang digunakan memiliki fungsi yang berbeda. Motor servo yang pertama berfungsi sebagai pendorong adonan setelah dilakukan pembacaan oleh sensor berat. Sedangkan motor servo yang kedua berfungsi sebagai penggerak lengan pemilah atau perosotan pemilah. Untuk *interface* dari alat menggunakan LCD 20x4. LCD berfungsi untuk menampilkan data hasil pembacaan oleh sensor. Selain itu LCD juga berfungsi sebagai penampil program menu.

E. Perancangan Kontrol PID

Program kontroler PID yang akan dibuat nantinya bertujuan untuk mengatur besarnya analog output dengan masukan dari analog input. Pada proyek akhir pengaturan posisi motor servo ini yang menggunakan kontroler PID, dipergunakan metode untuk mendapatkan nilai masing-masing parameter Kp, Ki, dan Kd nya dengan metode osilasi. Langkah-langkah pada metode osilasi sebagai berikut:

1. Buat suatu sistem loop tertutup dengan kontroler P dan plant di dalamnya.
2. Tambahkan nilai Kp sampai sistem beresilasi berkesinambungan
3. Dapatkan responnya, tentukan nilai Ku dan Pu

Ditentukan nilai Kp, Ki, dan Kd berdasarkan tabel penalaan metode osilasi pada Tabel 3.

Penalaan parameter PID didasarkan terhadap kedua konstanta hasil percobaan, Ku dan Pu. Ziegler dan Nichols menyarankan penyetulan nilai Kp, Ti, dan Td berdasarkan rumus yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Dari Gambar 14 respon tersebut dapat diambil data saat Ku = 4 dan nilai Pu = 0.6 detik. Dengan menggunakan Tabel 3 dapat dilakukan penalaan parameter PID dengan menggunakan metode osilasi, sehingga dapat dilakukan perhitungan nilai dari masing-masing parameter sebagai berikut:

$$K_p(P) = 0,5 K_u$$

$$T_i(PI) = 0,5 P_u$$

$$K_p(P) = 0,5 \times 4$$

$$T_i(PI) = 0,5 \times 0,6$$

$$K_p(P) = 2$$

$$T_i(PI) = 0,3$$

$$K_p(PI) = 0,45 K_u$$

$$T_i(PID) = 0,5 P_u$$

$$K_p(PI) = 0,45 \times 4$$

$$T_i(PID) = 0,5 \times 0,6$$

$$K_p(PI) = 1,8$$

$$T_i(PID) = 0,3$$

$$K_p(PID) = 0,6 K_u$$

$$T_d(PID) = 0,125 P_u$$

$$K_p(PID) = 0,6 \times 4$$

$$T_d(PID) = 0,125 \times 0,6$$

$$K_p(PID) = 2,4$$

$$T_d(PID) = 0,075$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan tersebut, maka didapatkan nilai penalaan parameter PID menggunakan

metode osilasi. Hasil perhitungan penalaan ditampilkan pada Tabel 4.

Dari hasil penalaan parameter PID menggunakan metode osilasi yang telah dilakukan tersebut, maka dapat dilakukan perhitungan terhadap nilai K_i dan K_d menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} K_i &= \frac{K_p}{T_i} & K_d &= K_p \times T_d \\ K_i &= \frac{2,4}{0,3} & K_d &= 2,4 \times 0,075 \\ K_i &= 8 & K_d &= 0,18 \end{aligned}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan, dapat diketahui nilai $K_p = 2.4$, sedangkan untuk nilai $K_i = 8$ dan nilai $K_d = 0.18$. Akan tetapi hasil dari parameter diatas belum tentu bisa bagus responnya. Setelah mendapat masing-masing parameter K_p , K_i , dan K_d masing-masing parameter tersebut masih di *tuning* lagi dengan *trial and error* sampai respon yang didapat bagus hasilnya.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian saat close loop tanpa kontroler

Pada Gambar 15 dapat diketahui respon sistem ketika dilakukan pengujian tanpa menggunakan metode kendali. Percobaan dilakukan dengan sudut awal sebesar 0° menuju ke sudut 45° seperti yang ditunjukkan Tabel 5. Pada gambar tersebut respon berosilasi secara terus menerus dan tidak bisa *steady state* pada *set point*. Hal tersebut dikarenakan sistem dalam keadaan close loop tanpa adanya kontroler apapun.

B. Pengujian Penggerak Lengan Sortir dengan Kontroler

Pengujian sistem sortir dengan metode kendali dilakukan untuk mengetahui dan membandingkan terhadap respon sistem tanpa metode kendali. Pada percobaan tanpa metode kendali sudah diketahui bahwa sistem selalu berosilasi secara terus-menerus dan mengalami *error steady state* yang tidak sesuai dengan *set point* yang ditentukan. Dengan adanya penerapan metode kendali bertujuan untuk memperbaiki respon keluaran dari sistem. Sehingga dapat meningkatkan akurasi gerak lengan pemilah sistem sortir menjadi lebih baik.

1) Pengujian Kontrol P

Pada Gambar 16 merupakan hasil pengujian respon dari sistem dengan kontrol P. Dengan menggunakan nilai $K_p = 8$ bisa kita analisa keseluruhan respon sistem mengalami *overshoot* yang tidak melebihi 25% dan *error steady state* atau *steady state* yang tidak sesuai dengan nilai *set point* yang diberikan. Pada masing-masing respon tersebut diberikan pengujian dengan sudut target yang bervariasi. Pada pengujian tersebut dapat dilihat bahwa *overshoot* yang terjadi semakin mengecil seiring dengan nilai *set point* yang semakin diperbesar, tetapi nilai *error steady state* nya mengalami kesamaan yaitu *error* sebesar 1° terhadap *set point* seperti yang ditunjukkan Tabel 6.

2) Pengujian Kontrol PI

Pada Gambar 17 merupakan hasil pengujian respon dari sistem dengan kontrol PI. Dengan menggunakan nilai $K_p = 8$ dan nilai $K_i = 0,06$ bisa kita analisa keseluruhan respon sistem mengalami *overshoot* tetapi nilai *error steady state* terhadap *set point* dapat diperbaiki. Pada masing-masing respon tersebut diberikan pengujian dengan sudut target yang

bervariatif. Pada pengujian tersebut dapat dilihat bahwa *overshoot* yang terjadi semakin mengecil seiring dengan nilai *set point* yang semakin diperbesar. Selain itu pada respon sistem kontrol PI ini sudah tidak terdapat *error steady state*, dimana respon sesuai dengan masing-masing *set point* yang diberikan. Seperti yang diketahui pada tabel karakteristik kontrol PID, bahwa K_i dapat menghilangkan *error steady state* terhadap *set point* seperti yang ditunjukkan Tabel 7.

3) Pengujian Kontrol PID

Pada Gambar 18 diatas merupakan respon sistem hasil pengujian dengan menggunakan kontroler PID. Dengan menggunakan nilai $K_p = 4$, $K_i = 0,002$ dan $K_d = 0,004$. Secara keseluruhan percobaan saat menggunakan kontroler PID *steady state* respon bisa mencapai setpoint dan sudah tidak terdapat *overshoot*. Seperti yang telah diketahui pada karakteristik kontrol PID, bahwa nilai K_d dapat berfungsi sebagai peredam *overshoot* yang terjadi pada respon sistem. Selain itu pada semua percobaan kontrol PID yang telah dilakukan, tidak terdapat osilasi pada respon sistem. Meskipun nilai *set point* dilakukan perubahan secara variative seperti yang ditunjukkan Tabel 8.

Dari pengujian beberapa kontroler didapatkan hasil, bahwa penggunaan kontroler PID lebih bagus dibanding dengan yang lain. Sistem dapat mencapai *set point* dengan *steady state* tanpa mengalami osilasi sedikit pun. Sehingga dari percobaan tersebut dapat diketahui bahwa kontrol PID lebih baik dibandingkan dengan kontrol P dan kontrol PI.

C. Pengujian Performa Sistem sortir

Pengujian sistem sortir dilakukan guna mengetahui apakah sistem dapat bekerja dengan baik atau sebaliknya. Cara pengujian sistem sortir dilakukan dengan memberikan beban berupa adonan yang telah diketahui beratnya pada sensor *loadcell*. Ketika berat objek telah terbaca maka motor servo yang berfungsi untuk menggerakkan pemilah akan bergerak menuju sudut yang ditentukan, sehingga objek dapat terpilah ke wadah sesuai dengan klasifikasi beratnya. Adapun hasil pengujian sistem sortir berat adonan ditunjukkan pada Tabel 9.

Dari tabel percobaan tersebut, diketahui bahwa sistem sortir dapat bekerja dengan baik tanpa terjadi kesalahan pemilahan. Untuk menghindari kesalahan pemilahan yang terjadi karena nilai toleransi *error* dari hasil pembacaan berat oleh sensor *load cell*, maka diperlukan *range* nilai pemilahan. Pada objek yang ke-satu memiliki *range* pemilahan 38gram sampai 42gram untuk objek dengan klasifikasi berat 40gram, sedangkan pada objek yang ke-dua memiliki *range* pemilahan 78gram sampai 82gram untuk obek dengan klasifikasi berat 80gram. Sedangkan untuk berat yang diluar *range* dari objek 1 dan objek 2, maka akan diklasifikasikan sebagai objek *reject*

V. KESIMPULAN

Setelah melalui beberapa proses perencanaan, pembuatan, pengujian alat dan pengambilan data yang didapat dari pengujian pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut: (1) Alat yang dibuat berupa mesin sortir berat adonan yang dilengkapi dengan konveyor dan sistem counter filling dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan, sehingga dapat diimplementasikan pada Industri

Rosmita Bakery. (2) Sistem sortir yang dibuat dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Dimana pada sistem tersebut dapat memilah dua jenis objek, yaitu objek dengan berat 20gram dan objek dengan berat 40gram. Objek yang memiliki berat tidak sesuai dengan kedua jenis berat tersebut maka akan diklasifikasikan sebagai objek *reject*. Dari hasil percobaan yang telah dilakukan alat memiliki tingkat akurasi pemilahan 100% akurat, dengan kata lain alat tersebut tidak mengalami kesalahan dalam pemilahan berat potong adonan. (3) Sistem sortir mengalami osilasi atau gerakan bolak-balik pada motor servo penggerak lengan pemilah ketika dilakukan percobaan tanpa menggunakan metode kontrol, hal tersebut dikarenakan adanya beban berupa lengan pemilah yang terbuat dari lembar alumunium dengan berat $\pm 2\text{Kg}$. (4) Osilasi pada motor servo penggerak lengan pemilah dapat dilakukan perbaikan menggunakan metode kontrol PID.

Sehingga motor servo dapat mencapai *set point* dengan *steady state* tanpa terjadi osilasi. (5) Pada pengujian kontroler yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa penerapan kontrol PID pada sistem, lebih baik dibanding dengan penerapan kontrol P dan kontrol PI. Dimana pada kontrol Proporsional berfungsi mempercepat rise time sistem, pada kontrol Integral berfungsi meniadakan error steady state pada sistem, dan pada kontrol Derivative berfungsi meredam *overshoot* yang terjadi pada sistem

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. M. S. B. M. Sujarwata, "Basic Stamp 2SX Untuk Mengembangkan Sistem Robotika," Universitas Negeri Semarang, 2013.
- [2] A. Safaris and H. Effendi, "Rancang bangun alat kendali sortir barang berdasarkan empat kode warna," *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 6, no. 2, pp. 391–402, 2020.