



TUGAS AKHIR – TM 141585

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALI
KECEPATAN *PUNCH* PROSES *IRONING* PADA
PEMBUATAN SELONGSONG PELURU KALIBER 20
MM**

IDZNI SARAYA
NRP 02111645000050

Dosen Pembimbing
Ir. Bambang Pramujati, M.Eng, Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT – TM 141585

**DESIGN OF PUNCH SPEED CONTROL SYSTEM IN
THE IRONING PROCESS OF 20 MM BULLET
CARTRIDGE**

IDZNI SARAYA
NRP 02111645000050

Advisor

Ir. Bambang Pramujati, M.Eng, Ph.D

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL ENGINEERING
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALI
KECEPATAN PUNCH PROSES IRONING PADA
PEMBUATAN SELONGSONG PELURU KALIBER
20 MM**

TUGAS AKHIR

Dijukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

IDZNI SARAYA

NRP. 021116 45 000050

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- | | | |
|----|---|---------------|
| 1. | <u>Ir. Bambang Pramujati, M.Sc.Eng., Ph.D.</u>
NIP. 196912031994031001 | (Pembimbing) |
| 2. | <u>Prof. Dr. Ing. I Made Londen Batan, MT</u>
NIP. 195811061986011001 | (Penguji I) |
| 3. | <u>Dr. Eng. Unggul Wasiwitono, ST., M.Eng., Sc</u>
NIP. 197805102001121001 | (Penguji II) |
| 4. | <u>Ari Kurniawan Saputra, ST., MT.</u>
NIP. 198604012015041001 | (Penguji III) |



SURABAYA

JULI, 2018

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALI KECEPATAN PUNCH PROSES IRONING PADA PEMBUATAN SELONGSONG PELURU KALIBER 20 MM

Nama : Idzni Saraya
NRP : 02111645000050
Departemen : S-1 Teknik Mesin LJ
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Pembimbing : Ir. Bambang Pramujati, M.Eng, Ph.D

ABSTRAK

Dalam pembuatan selongsong peluru terdapat beberapa macam proses manufaktur yang dilakukan. Proses manufaktur tersebut terkait dengan SMF (*Sheet Metal Forming*), seperti proses *deep drawing* (DD) dan proses penipisan dinding (*ironing*). Beberapa variabel penting dalam proses *ironing* diantaranya adalah sudut die, kecepatan *punch*, reduksi ketebalan, dan temperatur. Variabel kecepatan gerak punch merupakan variabel yang akan dibahas dalam penelitian tugas akhir ini, karena memiliki pengaruh pada hasil pembentukan benda kerja dan berpotensi menimbulkan cacat pada produk. Cacat yang paling berpotensi ditimbulkan akibat ketidakstabilan kecepatan gerak punch adalah sobek, sehingga perlu dirancang suatu sistem kendali kecepatan gerak punch pada proses *ironing* pembuatan selongsong peluru.

Dalam proses pembuatan selongsong peluru kaliber 20 mm, menggunakan sistem hidrolik sebagai sumber tenaga dan sistem kontrol yang akan dikembangkan dalam penelitian ini menggunakan sistem kontrol PID dengan *input* tegangan pada *solenoid valve* untuk mengontrol besar *flowrate* yang akan

digunakan pada sistem untuk menggerakkan aktuator. Tahapan penelitian tugas akhir ini dimulai dengan mengidentifikasi masalah dan studi literatur, kemudian analisa dan desain proses ironing untuk menentukan input parameter pada desain sistem kontrol dan sebagai dasar pemodelan sistem. Pengujian sistem tanpa kendali akan dilakukan untuk melihat bagaimana respon sistem sebelum diberi sistem kendali, serta sebagai acuan untuk menentukan spesifikasi desain sistem kendali. Perancangan pengendali PID dilakukan untuk memenuhi spesifikasi desain sistem kendali dengan ketentuan bahwa sistem kendali dapat dikatakan stabil setelah melalui simulasi dan uji kestabilan.

Hasil dari tugas akhir ini diperoleh pemodelan persamaan gerak *punch* dalam model matematis yang sesuai dalam proses *ironing* pada pembuatan selongsong peluru berupa persamaan tranfer function dengan koefisien massa sebesar 8.2 kg, koefisien damper 20 N.s/m dan koefisien stiffness 100 N/m². Pada perancangan sistem kendali PID diperoleh nilai parameter K_p, K_i dan K_d berturut-turut sebesar 614,3614; 226,7286 dan 416,1803 dengan respon transien dari sistem kendali berupa nilai *overshoot* sebesar 2.43%, *settling time* sebesar 0.0941 detik dan *rise time* sebesar 0,03415 detik.

Kata kunci: proses *ironing*, selongsong peluru, kontrol kecepatan, PID.

DESIGN OF PUNCH SPEED CONTROL SYSTEM IN THE IRONING PROCESS OF 20 MM BULLET CARTRIDGE

Name : Idzni Saraya
NRP : 02111645000050
Departement : S1 Teknik Mesin
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Advisor : Ir. Bambang Pramujati, M.Eng, Ph.D

ABSTRACT

Sheet Metal Forming (SMF) is primarily used to manufacture bullet cartridges, with processes consists of deep drawing (DD) and ironing. Several critical parameters in the ironing process are angle of die, punch velocity, thickness reduction and temperature. This project will focus on punch velocity due to its direct relationship with product defect, especially a tear. A tear may occur due to unstability in the punch velocity. This requires a robust control system in ironing process to prevent the unstability from occuring.

Hydraulic system is used as power source of 20mm caliber bullet cartridge, with PID as the main control system. Solenoid valve served as input voltage to control the value of flow rate used to move the actuator. The steps taken to construct this project are problem statement and identification, literature study, and design analysis to obtain input parameters as base of system modelling. A test is conducted to observe initial response of the uncompensated system and also served as reference of initial parameter to model the compensated system. The system is said to be stable when the compensated system passes both the simulation and stability test.

The result of this final project retrieved modeling equations of motion punch speed in a mathematical model that is appropriate in the process of ironing on the manufacturing of the bullet cartridge. The form of its transfer function has coefficient of a mass 8.2 kg, damper coefficient 20 N.s/m and stiffness coefficient 100 N/m². On the design of PID control Parameteric value is obtained using PID tuner, with values of Kp, Ki and Kd are 614,3614; 226,7286 dan 416,1803 respectively. Transient Responses of the control system are overshoot of 2.43%, settling time of 0.0941s and rise time of 0,03415s.

Keywords: ironing process, bullet cartridge, speed control, PID.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. karena atas rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Perancangan Sistem Pengendali Kecepatan *Punch* Proses *Ironing* pada Pembuatan Selongsong Peluru Kaliber 20 mm.”

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademis yang wajib diselesaikan oleh setiap mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin, untuk mendapatkan gelar Sarjana pada Departemen Teknik Mesin FTI – ITS. Banyak pihak yang telah membantu sampai selesainya Tugas Akhir ini, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan saudara penulis yang telah mendukung dan mendoakan selama proses perkuliahan hingga penyelesaian tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Bambang Pramujati, M.Sc.Eng., Ph.D. selaku ketua Departemen Teknik Mesin dan dosen pembimbing yang telah memberikan masukan dan arahan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ing. I Made Londen Batan, M.Eng dan Bapak Ari Kurniawan S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik membangun sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
4. Bapak Unggul Wasiwitono, S.T., M.Eng.Sc., Dr. Eng., selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan selama masa perkuliahan sekaligus selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik membangun sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

5. Bapak Dr. Ir. Bambang Sampurno, M.T yang telah banyak memberi dukungan dan semangat serta Bapak Masruki Khabib, S.T., M.T., yang telah banyak memberi saran dan masukan pada proses penyelesaian tugas akhir ini.
6. Seluruh dosen pengajar Departemen Teknik Mesin yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan selama masa perkuliahan.
7. Teman-teman Lintas Jalur S1 Teknik Mesin ITS khususnya angkatan 2016, teman-teman Lab. Otomasi Industri dan teman-teman dari UKM Technopreneur Development Center ITS yang selalu mendukung dan memberi semangat.
8. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis berharap semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan tugas akhir ini masih memiliki kekurangan. Penulis berharap saran dan kritik dari pembaca yang membangun mampu menyempurnakan penulisan laporan dimasa yang akan datang.

Surabaya, Juli 2018
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	1
LEMBAR PENGESAHAN .Error! Bookmark not defined.	
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Proses <i>Ironing</i>	11
2.2.1 Perhitungan Gaya pada Proses <i>Ironing</i>	12
2.2.2 Rasio Pengurangan Ketebalan	14
2.3 Sistem Hidrolik	15
2.3.1 Sistem Tenaga Hidrolik	15
2.3.2 Katup Hidrolik.....	18
2.4 Sistem Kontrol PID	21

2.4.1 <i>Transfer function</i> pada sistem kontrol PID.....	23
2.4.2 Metode Ziegler-Nichols.....	25
2.5 Respon Transien.....	26
2.6 Uji Stabilitas.....	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	31
3.2. Langkah-Langkah Penelitian	32
BAB IV PEMBAHASAN	37
4.1 Analisa Gaya pada Proses <i>Ironing</i>	37
4.2 Sistem Hidrolik pada Pembuatan Selongsong Peluru ..	40
4.3 Pemodelan sistem <i>ironing</i>	43
4.3.1 Pemodelan gerak <i>punch</i> pada proses <i>ironing</i>	43
4.3.2 Pemodelan <i>solenoid valve</i> pada sistem hidrolik proses <i>ironing</i>	46
4.4 Pengujian <i>open loop</i>	49
4.4.1 Pengujian <i>open loop</i> pada <i>punch</i>	50
4.4.2 Pengujian <i>open loop</i> pada <i>solenoid valve</i>	52
4.5 Desain Kendali PID	54
4.5.1 Metode Ziegler Nichols	55
4.5.2 Desain Kendali PID dengan PID Tuner	58
4.5.3 Uji Stabilitas pada <i>Plant</i> dengan Sistem Kendali ..	59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	61

DAFTAR PUSTAKA.....	63
BIODATA PENULIS.....	65

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Tahapan Proses Pembuatan Selongsong Peluru.. 1	
Gambar 1.2 Proses multistep ironing secara horizontal [3] 2	
Gambar 1.3 Cacat pada selongsong peluru..... 3	
Gambar 2.1 Geometri tools dan dimensi utama dari proses ironing [7] 8	
Gambar 2.2 Skematik peralatan pada proses ironing di industri manufaktur [6] 9	
Gambar 2.3 Diagram solenoid valve dan aktuator hidrolik [10]..... 10	
Gambar 2.4 Beberapa proses pembentukan logam [1] 11	
Gambar 2.5 Skematik proses <i>ironing</i> [2] 12	
Gambar 2.6 Pressure intensifier 17	
Gambar 2.7 Kontrol hidrolik dengan 4/3 DCV [14] 19	
Gambar 2.8 Bentuk fisik 4/2 - way solenoid valve..... 20	
Gambar 2.9 Konstruksi DC <i>solenoid valve</i> (sumber: Bosch Rexroth AG)..... 20	
Gambar 2.10 Diagram blok sistem kontrol PID <i>closed loop</i> 22	
Gambar 2.11 Struktur Sistem Kontrol PID Ideal 24	
Gambar 2.12 <i>Equivalent closed-loop transfer function</i> 29	
Gambar 3. 1 Flowchart penelitian..... 31	
Gambar 3. 2 <i>Flowchart</i> penelitian (lanjutan)..... 32	
Gambar 4.1 Benda kerja hasil proses <i>deep drawing</i> 37	
Gambar 4.2 Skematik sistem hidrolik yang diterapkan 40	
Gambar 4.3 Relay diagram untuk solenoid valve 42	
Gambar 4.4 Ilustrasi gerak mekanis proses ironing pada pembuatan selongsong peluru..... 43	
Gambar 4.5 Free body diagram pada punch 44	

Gambar 4.6 Block diagram untuk pemodelan gerak punch..	45
Gambar 4.7 Konstruksi 4/2 way solenoid valve	46
Gambar 4.8 (a) sistem mekanis (b) Free body diagram dari linear solenoid valve	47
Gambar 4.9 (a) Konstruksi <i>solenoid valve</i> dan (b) representasi elektrik pada <i>solenoid valve</i>	48
Gambar 4.10 Blok diagram untuk gerak punch	50
Gambar 4.11 Step response pada gerak <i>punch</i>	50
Gambar 4.12 Posisi <i>pole</i> pada s-plane untuk pemodelan gerak <i>punch</i>	51
Gambar 4.13 <i>Transfer function</i> pada <i>solenoid valve</i>	52
Gambar 4.14 <i>Step response</i> pada <i>solenoid valve</i>	52
Gambar 4.15 Lokasi <i>pole</i> pada <i>plant solenoid valve</i>	54
Gambar 4.16 Diagram blok sederhana pada sistem kendali .	54
Gambar 4.17 Diagram blok sistem kendali PID	55
Gambar 4.18 Grafik osilasi dari <i>plant</i> untuk perancangan sistem kendali pada <i>solenoid valve</i>	57
Gambar 4.19 Hasil simulasi PD untuk kendali PID dengan metode Ziegler Nichols.....	58
Gambar 4.20 PID Tuner dalam perancangan sistem kendali PID	59
Gambar 4.21 <i>Pole-zero map</i> pada plant dengan sistem kendali PID	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Koefisien gaya gesek pada proses drawing dan ekstrusi	14
Tabel 2.2 Respon sistem kontrol PID terhadap perubahan parameter [15].....	23
Tabel 2. 3 Persamaan untuk Metode Ziegler-Nichols.....	25
Tabel 2.4 <i>Completed Routh table</i>	29
Tabel 4.1 Hasil perhitungan gaya pada proses ironing	39
Tabel 4.2 Tekanan yang dibutuhkan untuk gerak punch pada setiap proses ironing	41
Tabel 4.3 Tabel Routh Hurwitz pada pengujian stabilitas gerak punch.....	51
Tabel 4.4 Tabel Routh Hurwitz pada pengujian <i>solenoid valve</i>	53
Tabel 4.5 Tabel Routh Hurwitz untuk perancangan sistem kendali PID	56

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Selongsong peluru atau patrun adalah sebuah wadah pembungkus proyektil peluru, yang terdiri dari propelan (bubuk mesiu), rim, dan primer. Dalam pembuatan selongsong peluru terdapat beberapa macam proses manufaktur yang dilakukan. Proses manufaktur tersebut terkait dengan SMF (*Sheet Metal Forming*), seperti proses *deep drawing* (DD) dan proses penipisan dinding (*ironing*). Gambar 2.1 menunjukkan beberapa tahapan proses dalam pembuatan selongsong peluru.



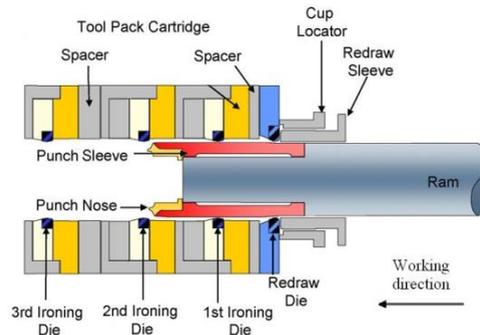
Gambar 1.1 Tahapan Proses Pembuatan Selongsong Peluru

Proses *drawing* adalah proses pembentukan logam dari lembaran logam ke dalam bentuk tabung (*hollow shape*). Proses ini dilakukan dengan *punch*, dimana *punch* akan menekan material benda kerja yang berupa lembaran logam berbentuk lingkaran, hingga terjadi peregangan mengikuti bentuk dies. Bentuk akhir proses ini pada umumnya berupa silinder dengan kedalaman tertentu. Namun, ketebalan dinding hasil proses ini sering kali tidak seragam dan ketinggian yang dibentuk cenderung terbatas, sehingga untuk mengatasi hal ini perlu dilakukan penipisan untuk menyeragamkan ketebalan dinding dengan proses *ironing* [1].

Proses *ironing* adalah proses yang bertujuan untuk mengurangi ketebalan dinding dengan penambahan dari tinggi dinding itu sendiri, proses ini sering dilakukan setelah proses

drawing dan *redrawing*. Proses *ironing* dilakukan dengan ring cetakan (*ring ironing die*) dan untuk proses *ironing* yang dilakukan dalam beberapa tahapan sekaligus disebut dengan *multiple/multi-stage ironing* seperti pada Gambar 1.2. Pada proses *ironing*, sudut pada ring *ironing die* sangat berpengaruh pada tegangan yang terjadi pada dinding dan gaya *ironing*. Kenaikkan tegangan pada dinding dan gaya *ironing* semakin meningkat seiring dengan besar sudut *die* yang diterapkan [2].

Beberapa variabel penting dalam proses *ironing* diantaranya adalah sudut die (41,73%), kecepatan *punch* (21,43%), reduksi ketebalan (20,69%), dan temperatur (16,15%). [3]. Untuk variabel proses sudut die sebelumnya telah dilakukan pemodelan dan simulasi proses *ironing* dengan menggunakan software ANSYS untuk mengetahui gaya pembentukan minimum dengan variasi sudut *ring ironing die* dan reduksi ketebalan dinding agar tidak menyebabkan cacat. Disimpulkan bahwa gaya *punch* pada proses *ironing* sangat sensitif terhadap ketebalan yang dihasilkan dari proses *deep drawing* dan perilaku pengerasan [4].



Gambar 1.2 Proses *multistep ironing* secara horizontal [5]

Gaya *punch* yang sensitif dapat dikatakan tidak stabil, sehingga dapat mengakibatkan cacat pada benda kerja, begitu juga parameter kecepatan gerak *punch* memiliki pengaruh pada hasil proses pembentukan benda kerja. Hal ini berhubungan dengan

jenis material benda kerja yang digunakan, karena setiap jenis material mempunyai karakteristik berbeda sehingga kecepatan maksimal masing-masing material juga berbeda sehingga perlu adanya kontrol kecepatan punch pada proses ironing agar tidak terjadi cacat seperti sobek pada bagian bawah selongsong peluru seperti pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3 Cacat pada selongsong peluru

Salah satu faktor yang mempengaruhi adanya perubahan kecepatan adalah *sliding path* pada proses *ironing* yang umumnya terbatas dan kondisinya selalu berubah dari awal hingga akhir. Faktor pertama yang mempengaruhi adalah jumlah kapasitas fluida yang masuk pada aktuator gerak punch, meningkatnya temperatur dan tekanan pada benda kerja dan *tools* saat proses berlangsung, yang kemudian mempengaruhi keausan pada produk dan perubahan kecepatan relatif pada *sliding*, dan lain-lain. [6]. Berdasarkan hal-hal tersebut pada tugas akhir ini akan dikembangkan penelitian mengenai perancangan sistem kendali kecepatan *punch* pada proses *ironing* dalam pembuatan selongsong peluru kaliber 20 mm, untuk mengoptimalkan hasil dari proses pembuatan selongsong peluru.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjabaran latar belakang sebelumnya, dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana memodelkan persamaan gerak kecepatan *punch* ke dalam model matematis yang sesuai dalam proses *ironing* pada pembuatan selongsong peluru agar tidak terjadi cacat?
2. Bagaimana merancang sistem kendali yang sesuai untuk mengendalikan kecepatan *punch* dalam proses *ironing* pada pembuatan selongsong peluru?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan adalah:

1. Memodelkan persamaan gerak kecepatan *punch* ke dalam model matematis yang sesuai dalam proses *ironing* pada pembuatan selongsong peluru.
2. Mendapatkan rancangan sistem kendali yang sesuai untuk mengendalikan kecepatan *punch* pada proses *ironing* pada pembuatan selongsong peluru.

1.4 Batasan Masalah

Agar tugas akhir ini lebih terarah dan dapat memberikan kejelasan terhadap permasalahan yang dibahas, maka diambil beberapa batasan masalah dan asumsi sebagai berikut:

1. Sistem kendali yang digunakan adalah *closed loop* dan diaplikasikan untuk mengendalikan kecepatan *punch* pada proses *ironing*.
2. Benda kerja yang digunakan dalam proses *ironing* berbentuk *cup* silindris.
3. Rancangan sistem kontrol kecepatan pada proses *ironing* disesuaikan dengan *punch* dan *dies* pada mesin yang telah ada.

1.5 Manfaat Penelitian

Melalui tugas akhir ini diharapkan dapat memberu manfaat sebagai berikut:

1. Melengkapi penelitian-penelitian terdahulu mengenai pemodelan dan simulasi proses *sheet metal forming*, terutama pada proses *ironing*.
2. Memberikan kontribusi di bidang pengetahuan dan teknologi khususnya perancangan sistem kontrol pada teknologi otomasi industri dan manufaktur.

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

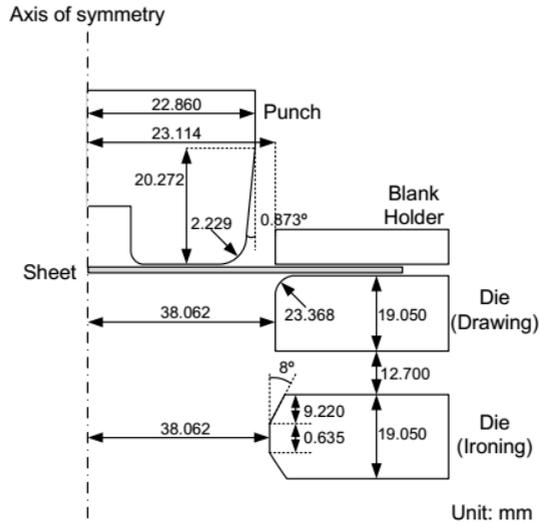
2.1 Tinjauan Pustaka

Proses *ironing* merupakan proses yang sangat bermanfaat ketika dikombinasikan dengan *deep drawing* untuk memproduksi ketebalan dinding yang seragam serta menambah ketinggian dinding. Proses *Ironing* umumnya diaplikasikan pada pembuatan kaleng minuman, didahului dengan proses-proses berikut: proses *blanking* pada plat logam, proses *deep drawing* untuk membentuk *cup*, selanjutnya dilakukan *redrawing* yang kemudian akan menjadi input geometri pada proses *ironing*. Sepanjang proses pembentukan tersebut kecepatan dibuat konstan sebesar 33,33 mm/s [5].

Faktor utama yang berpengaruh dalam proses *ironing* adalah: *forming speed*, *strain ratio* yang tergantung pada beban dan semi-angle pada *die cone*, tipe pelumasan dan geometri *tools* serta benda kerja. Gaya *ironing* juga merupakan parameter yang penting pada proses *ironing*, karena sangat mempengaruhi konsumsi daya yang dibutuhkan. Di sisi lain gaya *ironing* juga merepresentasikan nilai *output* dan kualitas proses. Faktor lain yang dibutuhkan dalam proses *ironing* ketika melakukan pengurangan ketebalan dinding adalah pendinginan dan pelumas. Faktor tersebut dibutuhkan untuk mengurangi gesekan pada proses, menghilangkan panas dan memobilisasi partikel logam yang muncul saat proses pembentukan.

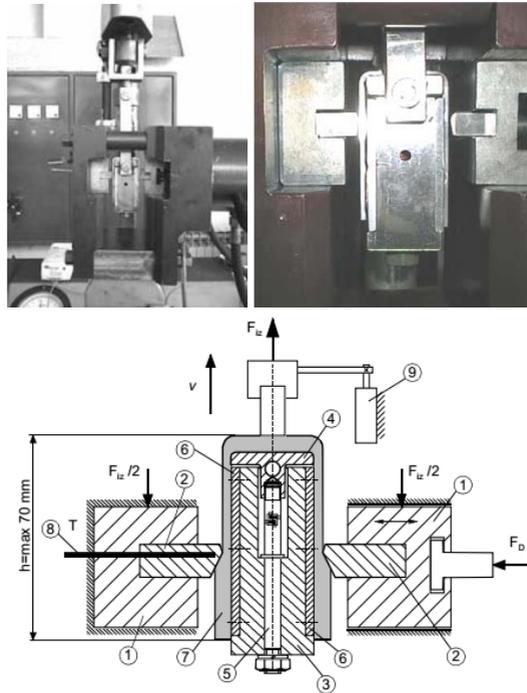
Pemodelan proses *ironing* sebelumnya dilakukan hanya menggunakan $\frac{1}{4}$ dari struktur keseluruhan. Peralatan atau *tools* yang lainnya dianggap rigid dan dimodelkan dengan menggunakan Bézier surfaces. Gambar 2.1 menunjukkan geometri yang memungkinkan proses operasi *drawing* dan *ironing* hanya dengan satu *punch stroke*, hal ini dilakukan untuk menyederhanakan proses yang sebenarnya. Gaya *blankholder* dipertimbangkan konstan selama proses dengan nilai 8.9KN, disesuaikan dengan data referensi. Total panjang stroke 72.1mm. Gaya gesek dengan menggunakan hukum Coulomb's dengan koefisien $\mu = 0,05$. [7]

Pada industri manufaktur lainnya, skematik perlengkapan proses ironing dikembangkan seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.1 Geometri tools dan dimensi utama dari proses *ironing* [7]

Aplikasi lain dari proses *ironing* terdapat pada pembuatan selongsong peluru kaliber 20mm. Penelitian mengenai pembuatan selongsong peluru kaliber 20 mm sebelumnya dilakukan dengan simulasi untuk mengetahui nilai ketinggian dinding berdasarkan variasi reduksi ketebalan dinding selongsong peluru yang akan dibuat, sehingga didapatkan ketinggian yang sesuai dengan kebutuhan dalam pembuatan selongsong peluru. Material yang digunakan untuk selongsong peluru kaliber 20 mm adalah kuningan Cu30% Zn 70% berbentuk cup diameter luar awal 33,5 mm, tebal 3 mm dan tinggi 37 mm. Berdasarkan perhitungan kekuatan material, maka didapat reduksi ketebalan dinding maksimum yang diijinkan pada proses *ironing* adalah 26,7%. [8]



Gambar 2.2 Skematik peralatan pada proses ironing di industri manufaktur [6]

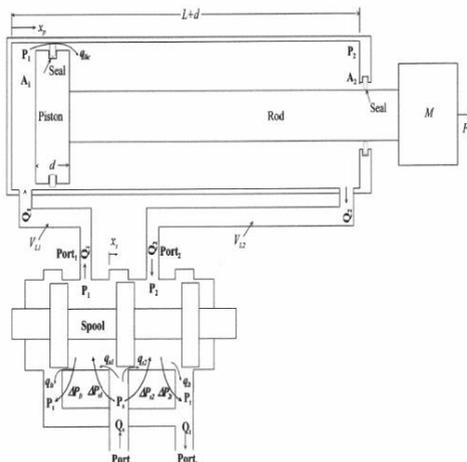
Keterangan:

- | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| 1 : Die support | 6 : Plates |
| 2 : Die | 7 : Sheet metal band (test piece) |
| 3 : Punch body | 8 : Thermocouple |
| 4 : Punch front | 9 : Potentiometer travel guide |
| 5 : Gauge with measuring bands | |

Pada penelitian yang lain dilakukan dengan merancang mekanisme dan sistem kontrol *cup holder* untuk proses *deep drawing*. Dimensi dari *cup* yang akan diambil adalah berdiameter

3,85 cm dan tinggi 3 cm. Hasil perhitungan teoritis dan simulasi kekuatan material komponen alat pada *software inventor* menunjukkan bahwa mekanisme *cup holder* tergolong kuat dan aman untuk digunakan. Hasil pengujian sistem kontrol *cup holder* adalah alat mampu memindahkan dan mengambil *cup* sejauh kurang lebih 52 cm (bergerak maju dan mundur masing-masing 26 cm) dengan kecepatan motor stepper 10,63 cm per detik. [9].

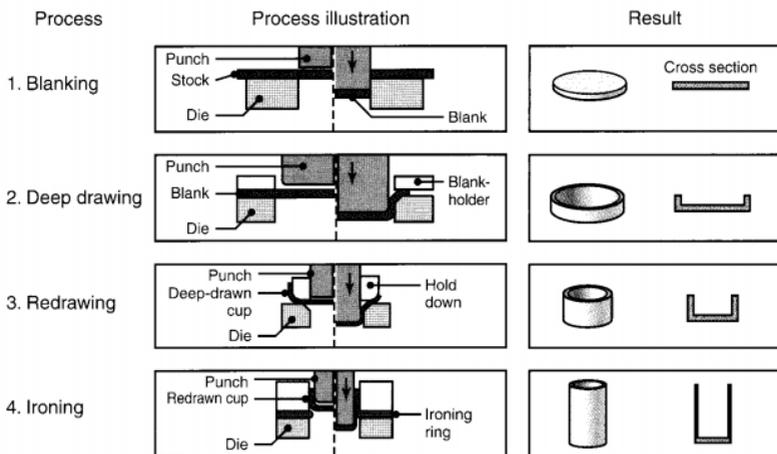
Pembuatan selongsong peluru kaliber 20mm menggunakan sistem hidrolis sebagai sumber daya untuk proses deep drawing dan ironing. Gerak aktuator di tentukan oleh besarnya kapasitas dan tekanan fluida yang masuk. Nilai kapasitas fluida akan mempengaruhi kecepatan dan langkah aktuator. Sedangkan tekanan fluida akan mempengaruhi besarnya gaya yang dihasilkan aktuator. Besarnya aliran fluida yang melalui valve masuk ke aktuator ditunjukkan sebagaimana Gambar 2.3 dimana sebagian kapasitas fluida Q_1 yang masuk ke aktuator akan masuk ke sisi kanan torak sebesar q_{1kc} dan solenoid valve digunakan untuk mengatur besar bukaan valve yang akan mempengaruhi besar kapasitas fluida yang menuju aktuator [10].



Gambar 2.3 Diagram *solenoid valve* dan aktuator hidrolis [10]

2.2 Proses *Ironing*

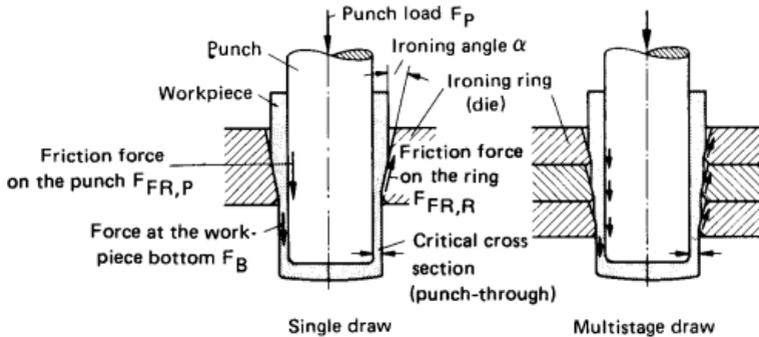
Proses *ironing* adalah salah satu proses pembentukan plat logam atau SMF (*sheet metal forming*). Proses ini termasuk dalam pengerjaan dingin atau *cold working* dimana dibutuhkan gaya yang besar dalam proses pengerjaannya, namun sebanding dengan peningkatan kekuatan pada logam [11]. Proses *ironing* pada umumnya dilakukan setelah proses *deep drawing* dan *redrawing* dengan tujuan untuk mengurangi ketebalan pada dinding disertai penambahan ketinggian seperti pada Gambar 2.3. Pada proses pengerjaannya, terdapat batasan pengurangan ketebalan yang bisa dilakukan dalam satu kali proses *ironing*, karena pengurangan ketebalan yang tinggi dapat melampaui kekuatan dinding plat logam.



Gambar 2.4 Beberapa proses pembentukan logam [1]

Kelebihan proses *ironing* dibandingkan dengan proses ekstrusi adalah gaya deformasi dan tegangan pada pahat atau *tools* lebih kecil. Keuntungan yang lain adalah ketebalan dinding dan permukaan benda kerja saat finishing memiliki keseragaman yang lebih baik. Gambar 2.5 menunjukkan proses *ironing* yang

dilakukan dengan 1 atau lebih dari 1 *ironing rings* sehingga ketebalan dinding berkurang.



Gambar 2.5 Skematik proses *ironing* [2]

Pada proses *ironing multistage* memiliki desain pada pahat yang berubah setiap tahapannya, hal ini dapat mengurangi gaya yang diperlukan menjadi minimum sehingga tegangan juga berkurang. Penelitian menunjukkan bahwa gaya deformasi yang diperlukan pada proses *ironing single-stage* lebih kecil dibandingkan pada proses *ironing multistage draw*. Gaya semakin besar dengan penambahan jumlah *ironing ring*, sudut pada *die opening* 2α mengakibatkan gaya pada bagian bawah benda kerja menjadi lebih besar. Gaya yang terlalu besar pada bagian bawah benda kerja dapat mengakibatkan kegagalan apabila *punch* melewatinya. Gaya yang bekerja pada bagian bawah benda kerja berkurang dengan berkurangnya sudut dari *ironing ring*.

2.2.1 Perhitungan Gaya pada Proses *Ironing*

Variabel yang berpengaruh pada perhitungan gaya pada proses *ironing* diantaranya adalah luasan *cross section* pada kondisi awal pada kondisi akhir dari benda kerja. Gaya pada proses *ironing* dengan perubahan diameter dalam yang diabaikan dan dengan mandrel yang dipasang kukuh (*fixed mandrel*) terdapat pada persamaan 2.6. [2]

$$F_{D,tot} = F_{id} + F_{FR,S} + F_{FR,M} + F_{Sh} \quad (2.1)$$

$$F_{D,tot} = A_1 \sigma_{f,m} \left[\left(1 + \frac{2\mu_s}{\sin 2\alpha} + \frac{2\mu_M}{\tan \alpha} \right) \varphi_{max} + \frac{1}{2} \hat{\alpha} \right] \quad (2.2)$$

Gaya pada luasan *cross section* akhir proses *ironing* pada persamaan 2.4

$$F_{l,tot} = F_{id} + F_{FR,S} - F_{FR,M} + F_{Sh} \quad (2.3)$$

$$F_{l,tot} = A_1 \sigma_{f,m} \left[\left(1 + \frac{2\mu_s}{\sin 2\alpha} - \frac{2\mu_M}{\tan \alpha} \right) \varphi_{max} + \frac{1}{2} \hat{\alpha} \right] \quad (2.4)$$

Pada proses *ironing*, gaya yang terdapat pada bagian bawah benda kerja semakin kecil seiring dengan mengecilnya sudut α sedangkan gaya gesek pada mandrel akan semakin besar, sehingga persamaan untuk perhitungan gaya yang diperlukan pada proses *ironing* adalah,

$$F_{tot} = F_{l,tot} + F_{FR,M} = F_{id} + F_{FR,S} + F_{Sh} \quad (2.5)$$

$$F_{tot} = A_1 \sigma_{f,m} \left[\left(1 + \frac{2\mu_s}{\sin 2\alpha} \right) \varphi_{max} + \frac{1}{2} \hat{\alpha} \right] \quad (2.6)$$

dimana,

- F_D : gaya pembentukan pada *mandrel*
- F_{id} : gaya deformasi ideal (*homogenous deformation*)
- $F_{FR,S}$: gaya gesek pada *die shoulder*
- F_{Sh} : gaya potong (*shearing force*)
- F_i : gaya pada proses *ironing*
- $F_{FR,M}$: gaya gesek pada *mandrel*
- μ_s : koefisien gesek pada mandrel
- μ_M : koefisien gesek pada *die shoulder*
- α : sudut *die*

$\hat{\alpha}$: $\tan\alpha$

$\sigma_{f,m}$: tegangan rata-rata

Nilai dari $\sigma_{f,m}$ dan φ_{max} berturut-turut dapat dianalisis berturut-turut melalui persamaan 2.7 dan 2.9 dimana nilai dari $\sigma_{f,o}$ untuk material Cu(30%)Zn(70%) adalah 250 N/m².

$$\sigma_{f,m} = \frac{1}{2}(\sigma_{f,o} + \sigma_{f,1}) \quad (2.7)$$

dimana,

$$\sigma_{f,1} = 880 (\varphi_{max}^{0,433}) \quad (2.8)$$

$$\varphi_{max} = \ln\left(\frac{A_0}{A_1}\right) \quad (2.9)$$

A_0 : luasan *cross section* awal benda kerja

A_1 : luasan *cross section* aakhir benda kerja

Koefisien gaya gesek atau μ_s didapat dari tabel 2.1 [2].

Tabel 2.1 Koefisien gaya gesek pada proses *drawing* dan ekstrusi

Proses	<i>Solid forward extrusion</i>	<i>Hollow forward extrusion</i>	<i>Drawing of bars and tubes</i>	<i>Ironing</i>	<i>Drawing of Hollow bodies</i>
Koefisien gaya gesek	0.04-0.08	0.1-0.125	0.02-0.05	0.02-0.07	0.02-0.08

2.2.2 Rasio Pengurangan Ketebalan

Thickness reduction ratio (TRR) atau rasio pengurangan ketebalan adalah persentase yang menyatakan besar penipisan yang terjadi dalam 1 tahapan proses ironing. Pengurangan

ketebalan yang tinggi dapat melampaui kekuatan dinding plat logam. Pada penelitian sebelumnya TRR pada mesin pembuatan selongsong peluru ini ditentukan sebesar 26% [4]. Thickness reduction ratio dapat dikalkulasikan dengan persamaan 2.10 berikut:

$$Rt (\%) = \frac{100(t_o - t_1)}{t_o} \quad (2.10)$$

dimana,

- Rt (%) : *thickness reduction ratio* (%)
 t_o : ketebalan sebelum proses (mm)
 t_1 : ketebalan setelah proses (mm)

2.3 Sistem Hidrolik

Sistem hidrolik merupakan sistem yang menggunakan tenaga fluida yang berupa *liquids (incompressible flow)* biasanya berupa oli (minyak hidrolik) untuk memberikan atau mentransmisikan daya dalam proses pengerjaan suatu sistem. Sistem hidrolik umumnya diaplikasikan pada proses kimia, sistem kontrol otomasi, serta aktuator dan *drive motor* untuk peralatan manufaktur. Sistem ini biasanya berhubungan dengan sistem mekanik berupa pompa, *valves* dan piston.

2.3.1 Sistem Tenaga Hidrolik

Pada sistem tenaga hidrostatik, tenaga ditransmisikan dengan peningkatan energi tekanan dari fluida kerja. Apabila gaya gesek diabaikan dan pada kondisi *steady state*, total gaya sebanding dengan perpindahan benda kerja pada akhir periode, Δt , energi potensial dari benda kerja yang terangkat bisa dikalkulasikan dengan persamaan 2.11:

$$E = mgy = Fy \quad (2.11)$$

dimana,

- E : Pertambahan energi potensial (J)
- F : Gaya yang diterapkan (N)
- g : Koefisien gaya gravitasi (m/s^2)
- m : massa benda kerja (kg)
- y : Perpindahan (m)

Jumlah energi (E) semakin bertambah selama periode Δt . Energi yang ditransfer ke sistem per satuan waktu merupakan daya (N), dimana:

$$N = \frac{Fy}{\Delta t} = Fv \quad (2.12)$$

Silinder pada sistem hidrolik diasumsikan ideal, sehingga daya masuk hidrolik dapat dihitung dengan persamaan 2.13:

$$N = Fv = \frac{p A_p Q}{A_p} = Qp \quad (2.13)$$

Perpindahan piston sepanjang y, dalam jangka waktu Δt diakibatkan oleh volume fluida yang memasuki silinder kerja sebesar V dan memiliki *flow rate* Q, dimana Q secara umum dapat dihitung melalui persamaan 2.14 dan pada penerapannya pada persamaan 2.15. [12]

$$Q = \frac{V}{\Delta t} = \frac{A_p v}{\Delta t} = A_p v \quad (2.14)$$

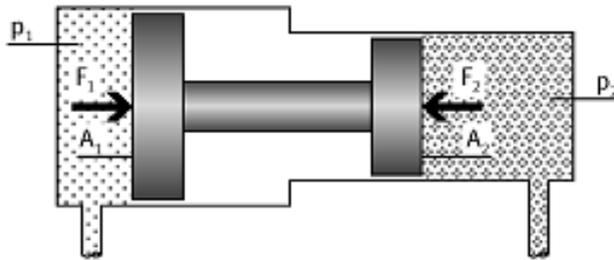
$$Q_s = A_1 \frac{dy}{dt} + \frac{V_1 dP_1}{\beta dt} \quad (2.15)$$

dimana,

- A_p = Luas penampang piston (m^2)
- p = Tekanan dari fluida masuk (Pa)
- Q = Flow rate (m^3/s)
- V = Volume fluida kerja dalam piston (m^3)

N = Daya mekanik yang ditransfer ke beban (W)
 v = Kecepatan angkat (m/s)
 β = modulus bulk

Tekanan pada sistem hidrolik menggunakan penerapan hukum Pascal, diilustrasikan pada Gambar 2.6 dengan persamaan dasar 2.16 dan pada penerapan sistem hidrolik yang memiliki gaya eksitasi, dianalisis menggunakan persamaan 2.17 [12].



Gambar 2.6 *Pressure intensifier*

$$P_1 A_1 = P_2 A_2 \quad (2.16)$$

$$P_1 A_1 - P_2 A_2 = m \frac{d^2 y}{dt^2} + F_{tot} \quad (2.17)$$

dimana,

- A_0 : luas torak (m^2)
- A_1 : luas batang torak (m^2)
- P_1 : tekanan masuk aktuator (Pa)
- P_2 : tekanan pada sisi batang torak (Pa)
- m : massa (kg)
- F : gaya eksitasi (F)

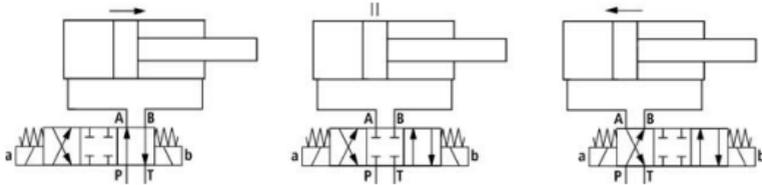
2.3.2 Katup Hidrolik

Katup atau *valve* dapat dibagi menjadi beberapa kelompok menurut fungsinya yang berhubungan dengan tipe sinyal, metode aktuasi dan konstruksi. Fungsi utama *valve* adalah sebagai penanda, apakah akan membangkitkan atau membatalkan sinyal yang berhubungan dengan proses dan kontrol. *Valve* dibagi menjadi beberapa jenis sebagai berikut [13]:

- *Directional control valves* digunakan untuk mengontrol atau mengarahkan aliran air dan mengaturnya dalam arah yang diinginkan. Katup ini juga digunakan untuk menghentikan atau memulai aliran fluida.
- *Non-return valves* adalah katup yang hanya mengalirkan aliran fluida dalam satu arah (aliran searah) dan tidak bisa sebaliknya.
- *Flow control valves* didefinisikan sebagai elemen untuk membatasi atau menghambat aliran dalam arah tertentu, yang bertujuan untuk mengurangi flow rate fluida kerja dalam rangka mengontrol aliran sinyal.
- *Pressure control valves* untuk mengatur tekanan. Tekanan cairan hidrolik diatur untuk berbagai tujuan misalnya untuk membatasi tekanan operasional dalam sistem hidrolik atau untuk mengurangi tekanan yang mengalir dalam saluran tertentu menjadi kecil.
- *Combination valves* merupakan kombinasi beberapa katup yang dapat menghasilkan fungsi yang baru, misalnya *timer* yang merupakan kombinasi dari *one-way flow control valve*, sebuah *reservoir* atau akumulator dan *3/2 way directional control valve*.
- *Solenoid valves* adalah katup yang digerakan oleh energi listrik, mempunyai koil sebagai penggerakannya yang berfungsi untuk menggerakkan piston yang dapat digerakan oleh arus AC maupun DC.

Pada penelitian tugas akhir ini menggunakan *Directional Control Valve (DCV)*. DCV pada umumnya digunakan untuk memulai, memberhentikan atau mengubah arah aliran fluida.

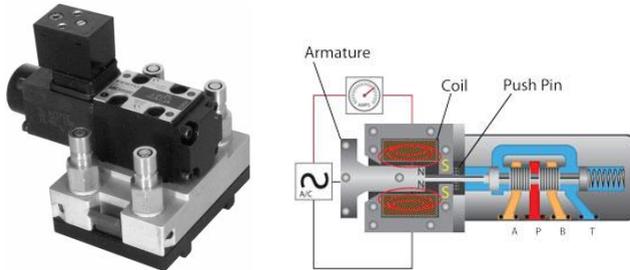
Penerapan DCV dalam mengontrol arah dan gerakan silinder hidrolik terdapat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Kontrol hidrolik dengan 4/3 DCV [14]

Pada penelitian ini gerak aktuator di tentukan oleh besarnya kapasitas dan tekanan fluida yang masuk. Nilai kapasitas fluida akan mempengaruhi kecepatan dan langkah aktuator. Sedangkan tekanan fluida akan mempengaruhi besarnya gaya yang dihasilkan aktuator [10]. Skematik diagram solenoid valve dan aktuator hidrolik ditunjukkan sebagaimana Gambar 2.8. Katup yang digunakan adalah DCV tipe spool jenis *Solenoid valve*.

Spool digunakan secara luas untuk mengontrol arah dengan berbagai macam cara. Sebuah *Solenoid* terdiri dari lilitan kawat yang terisolasi, umumnya dalam bentuk tabung yang ketika diberi energi listrik akan menimbulkan medan magnet sehingga dapat menggerakkan batang besi atau *iron rod* yang disebut *armature*, Gambar 2.8 merupakan ilustrasi konstruksi *solenoid valve*. Pergerakan *iron rod* akan digunakan sebagai aktuator untuk mengontrol katup pneumatik atau katup hidrolik. *Armature* secara langsung digabungkan dengan *valve spool* dalam hal ini diketahui sebagai '*direct acting*'. *Solenoid* akan membangkitkan gaya magnet yang cukup untuk menggerakkan *spool* melawan *seal* atau segelnya dan melawan tekanan fluida kerja.

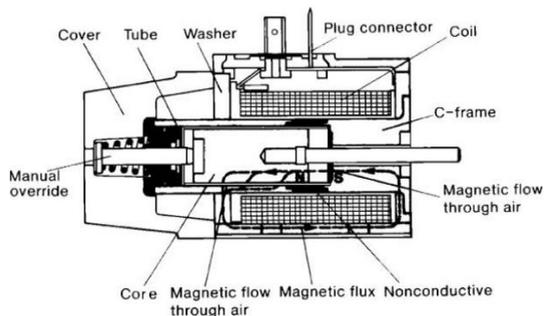


Gambar 2.8 Bentuk fisik 4/2 - way solenoid valve

Prinsip terjadinya solenoid adalah ketika terdapat arus yang mengalir melalui kabel, arus tersebut menimbulkan medan magnet di sekitar kabel. Ketika kabel tersebut menyentuh lilitan kawat, hal ini akan membangkitkan medan magnet di sekitar lilitan kawat. Gaya magnet (λ) sebanding dengan jumlah lilitan (N) dan arus listrik (i), sehingga dapat dirumuskan dalam persamaan berikut:

$$\lambda = N \quad (2.18)$$

Medan magnet dapat dibangkitkan lebih cepat apabila menggunakan material seperti besi atau baja daripada melalui udara. Medan magnet juga dapat dikonsentrasikan pada satu titik dengan menggunakan “C-frame” dari besi yang diletakkan di dalam lilitan kawat seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Konstruksi DC solenoid valve (sumber: Bosch Rexroth AG)

Solenoid coils tersedia dalam berbagai variasi tegangan AC maupun DC. *Solenoid coils* sering digunakan dalam satuan *watts* atau VA karena arus yang dihasilkan tergantung pada tegangan dan impedansi dari *coil*. Penggunaan *solenoid valves* semakin tersebar luas karena pertumbuhan penerapan pemrograman yang sangat cepat pada controller elektronik dan sistem tenaga fluida yang dikendalikan dengan komputer.

Tegangan yang diinduksi ke dalam konduktor *solenoid valve* (e_m) dipengaruhi oleh beberapa variabel seperti *flux density* (β), panjang jari-jari *coil* (a) dan jumlah *coil* (N), yang sesuai dengan persamaan 2.19 berikut:

$$e_m = 2N\beta la \dot{\theta} \quad (2.19)$$

Nilai e_m untuk gerak linier pada persamaan 2.20:

$$e_m = 2\pi a N \beta v \quad (2.20)$$

sedangkan gaya yang terdapat pada konduktor (f_e) dalam satuan Newton dinyatakan pada persamaan 2.21.

$$f_e = ai \quad (2.21)$$

Hukum tegangan untuk *single loop* yang menimbulkan elektrik pada sistem untuk gerak linier terdapat pada persamaan 2.22.

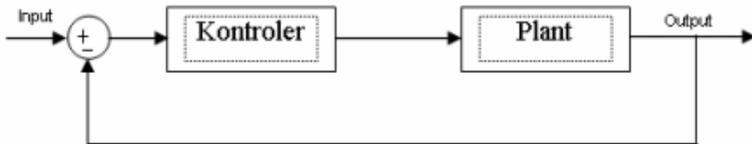
$$L \frac{di}{dt} + Ri + \alpha v = e_i \quad (2.22)$$

dimana $\alpha = 2\pi a N \beta$ untuk gerak linier dan $\alpha = 2N\beta la$ untuk gerak angular.

2.4 Sistem Kontrol PID

Sistem kontrol PID merupakan sistem kontrol yang sering digunakan dalam aplikasi teknologi karena sistem ini merupakan sistem kontrol loop tertutup yang cukup sederhana dan kompatibel dengan sistem kontrol lainnya sehingga dapat dikombinasikan dengan sistem kontrol lain seperti *Fuzzy control*, *Adaptif control*

dan *Robust control*. Gambar 2.10 menunjukkan diagram blok dari sistem kontrol loop tertutup.



Gambar 2.10 Diagram blok sistem kontrol PID *closed loop*

Sistem kontrol PID terdiri dari tiga buah cara pengaturan yaitu kontrol P (*Proportional*), D (*Derivative*) dan I (*Integral*), dengan masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Dalam implementasinya masing-masing cara dapat bekerja sendiri maupun gabungan diantaranya. Dalam perancangan sistem kontrol PID yang perlu dilakukan adalah pengaturan pada parameter P, I atau D agar respon sinyal keluaran sistem terhadap masukan tertentu sebagaimana yang diinginkan.

- *Proportional compensation*
Fungsi utama dari bagian ini adalah untuk mengidentifikasi nilai *gain* yang proporsional dari nilai error yang dihasilkan oleh perbandingan antara output dan *input* sistem.
- *Derivative compensation*
Fungsi dari bagian ini adalah untuk mengidentifikasi nilai turunan (*derivative*) dari sinyal error yang dikalikan dengan *gain* dari KD. Dengan kata lain, kemiringan dari gelombang sinyal error yang dihasilkan mengidentifikasi nilai dari *output*. Tujuan utama dari bagian ini adalah untuk meningkatkan respon transien untuk sistem *closed-loop* secara keseluruhan.
- *Integral compensation*
Fungsi utama dari bagian ini adalah untuk mengidentifikasi nilai integral dari perkalian antara sinyal error dengan *gain* dari KI. Ini menandakan bahwa area dibawah kurva sinyal error akan dipengaruhi oleh sinyal *output*

2.4.1 Transfer function pada sistem kontrol PID

Transfer function $H(s)$ pada sistem kontrol PID merupakan besaran yang nilainya tergantung pada nilai konstanta dari sistem P, I dan D. Untuk melihat pengaruh nilai P, I, dan D terhadap perubahan parameter terdapat pada tabel 2.2.

$$H(s) = \frac{K_D s^2 + K_p s + K_I}{s^3 + K_D s^2 + K_p s + K_I} \quad (2.23)$$

Tabel 2.2 Respon sistem kontrol PID terhadap perubahan parameter [15]

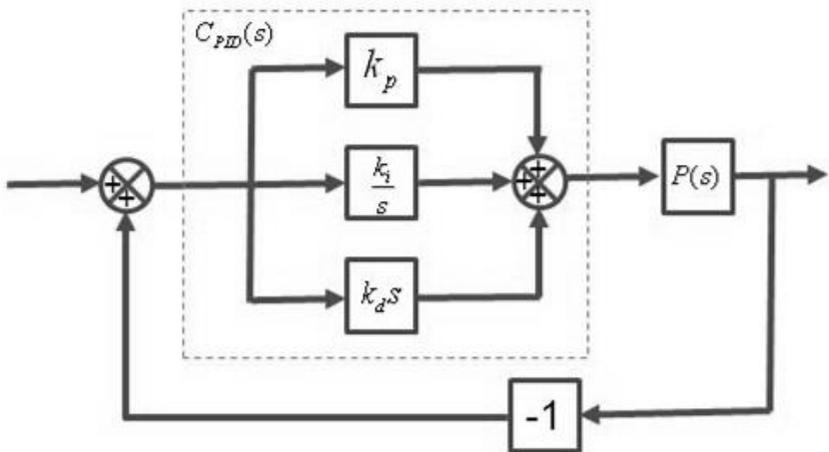
Respon closed loop	Rise time	Overshoot	Sttling time	Steady-state error
Proporsional (Kp)	Menurun	Meningkat	Perubahan kecil	Menurun
Integral (Ki)	Menurun	Meningkat	Meningkat	Penurunan cukup besar
Derivative (Kd)	Perubahan kecil	Menurun	Menurun	Perubahan kecil

Hubungan input - output pada sistem kontrol PID adalah pada persamaan *Integral-Differential*:

$$\begin{aligned} u(t) &= K_p y(t) + K_I \int_0^t y(\tau) d\tau + K_D \frac{dy}{dt} \quad (2.24) \\ &= K_p \left[y(t) + \frac{1}{T_I} \int_t^0 y(\tau) d\tau + T_d \frac{dy}{dt} \right] \end{aligned}$$

Persamaan untuk sistem kontrol PID yang ideal memiliki struktur seperti pada Gambar 2.11 dan memiliki transfer function sebagai berikut:

$$C_{PID}(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_d s = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2.25)$$



Gambar 2.11 Struktur Sistem Kontrol PID Ideal

Desain kendali PID [16]:

1. Mengevaluasi performansi uncompensated system untuk menentukan berapa banyak improvement yang dibutuhkan pada respon transien.
2. Membuat desain kendali PD yang mampu mendapatkan spesifikasi dari respon transien yang telah ditentukan. Desain yang dibuat mencakup lokasi zero dan loop gain.
3. Melakukan simulasi dari sistem yang telah dibuat untuk memastikan bahwa semua ketentuan telah terpenuhi.
4. Melakukan desain ulang apabila dari hasil simulasi menunjukkan adanya ketentuan yang belum terpenuhi.
5. Melakukan desain kendali PI untuk mendapatkan nilai steady state error yang telah ditentukan.
6. Menentukan gains, K_p , K_i , K_d pada Gambar 2.10 Struktur Sistem Kontrol PID Ideal.
7. Mensimulasikan sistem untuk memastikan bahwa ketentuan telah terpenuhi.
8. Melakukan desain ulang apabila terdapat ketentuan yang belum terpenuhi.

2.4.2 Metode Ziegler-Nichols

Metode Ziegler-Nichols adalah sebuah metode untuk menyesuaikan sebuah kontrol PID yang dikembangkan oleh John G. Ziegler dan athaniel B. Nichols seperti terlihat pada tabel 2.3. Penyesuaian dilakukan dengan mengubah nilai *gain* I (*integral*) dan D (*derivative*) menjadi nol. Nilai *gain* P (*proportional*), K_p ditingkatkan dari nilai nol sedikit demi sedikit sampai titik maksimal (*ultimate gain* K_u) dengan nilai osilasi *output* dari *control loop* stabil dan konsisten. K_u dan periode osilasi T_u digunakan untuk menentukan nilai *gain* P, I, dan D bergantung terhadap tipe dari kontrol yang digunakan. Tabel 2.3 menunjukkan hubungan antara jenis kontrol dan variabel K_p , T_i , dan T_d yang digunakan.

Tabel 2. 3 Persamaan untuk Metode Ziegler-Nichols

Control Type	K_p	T_i	T_d
P	$0,5K_u$	-	-
PI	$0,45K_u$	$\frac{T_u}{1.2}$	-
PD	$0,8K_u$	-	$\frac{T_u}{8}$
<i>Classic PID</i>	$0,6K_u$	$\frac{T_u}{2}$	$\frac{T_u}{8}$
<i>Pessen Integral Rule</i>	$0,7K_u$	$\frac{T_u}{2,5}$	$\frac{3T_u}{20}$
<i>Some overshoot</i>	$0,33K_u$	$\frac{T_u}{2}$	$\frac{T_u}{3}$
<i>No overshoot</i>	$0,2K_u$	$\frac{T_u}{2}$	$\frac{T_u}{3}$

2.5 Respon Transien

Respon sistem atau tanggapan sistem adalah perubahan perilaku output terhadap perubahan sinyal input. Respon sistem berupa kurva ini akan menjadi dasar untuk menganalisa karakteristik sistem. Bentuk kurva respon sistem dapat dilihat setelah mendapatkan sinyal input. Sinyal input yang diberikan untuk mengetahui karakteristik system disebut sinyal test. Ada 3 tipe input sinyal test yang digunakan untuk menganalisa system dari bentuk kurva response:

- Impulse signal, sinyal kejut sesaat
- Step signal, sinyal input tetap DC secara mendadak
- Ramp signal, sinyal yang berubah mendadak (sin, cos).

Terdapat dua sistem yang sering dilakukan analisis untuk melihat bagaimana respon atau output dari input pada sistem yaitu sistem orde satu (*first order system*) dan sistem orde dua (*second order system*). *First order system* hanya memiliki sebuah *pole* pada *real axis*, spesifikasi dari respon transien yang dapat diturunkan adalah *time constant* yang memiliki hubungan timbal balik dari lokasi *pole* pada *real axis*.

Second order system memiliki spesifikasi yang lebih kompleks karena memiliki beberapa karakteristik diantaranya:

- Apabila $\zeta = 0$ maka sistem memiliki respon berupa *undamped*.
- Apabila $\zeta < 1$ maka sistem memiliki respon berupa *underdamped*, yaitu sistem dimana output melesat naik untuk mencapai input kemudian turun dari nilai yang kemudian berhenti pada kisaran nilai input. Respon ini memiliki efek osilasi
- Apabila $\zeta = 1$ maka sistem memiliki respon berupa *critically damped* yaitu sistem dimana output tidak melewati nilai input tapi butuh waktu lama untuk mencapai target akhirnya.
- Apabila $\zeta > 1$ maka sistem memiliki respon berupa *overdamped* yaitu sistem dimana respon yang dapat mencapai nilai input dengan cepat dan tidak melewati batas input.

Pada kasus *underdamped* dapat didefinisikan beberapa spesifikasi respon transien, diantaranya:

- *Percent overshoot, %OS*

Persentase *overshoot* adalah Nilai relatif yang menyatakan perbandingan harga maksimum respon yang melampaui harga *steady state* dibanding dengan nilai *steady state*. Analisis perhitungan untuk %OS dapat dilakukan dengan persamaan 2.26.

$$\%OS = e^{-\left(\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)} \times 100 \quad (2.26)$$

Rumus lain yang berkaitan dengan overshoot pada persamaan 2.27.

$$\zeta = \frac{-\ln(\%OS/100)}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2(\%OS/100)}} \quad (2.27)$$

- *Peak time, T_p*

Peak time adalah Ukuran waktu diukur mulai $t = 0$ s/d respon mencapai puncak yang pertama kali (paling besar). Analisis peak time bisa dilakukan dengan persamaan 2.28.

$$T_p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}} \quad (2.28)$$

- *Settling time, T_s*

Settling time adalah Ukuran waktu yang menyatakan respon telah masuk 0,5% sampai dengan 5% dari respon *steady state*. Analisis settling time bisa menggunakan persamaan 2.29.

$$T_s = \frac{4}{\zeta \omega_n} \quad (2.29)$$

- *Rise time, T_r*

Ukuran waktu yang menyatakan keberadaan awal suatu respon, yang di ukur mulai respon 5% sampai dengan 95% dari respon *steady state* atau bisa juga kisaran 10% sampai dengan 90%.

2.5 Uji Stabilitas

Terdapat tiga ketentuan untuk melakukan perancangan sistem kontrol, yaitu: *transient response*, *stability* dan *steady state error*. Stabilitas merupakan salah satu spesifikasi penting pada suatu sistem kontrol. Sistem yang tidak stabil tidak akan bisa didesain dengan nilai *transient response* atau *steady state error* yang spesifik. Secara ringkas definisi stabilitas untuk sistem linier dan *time-invariant*, dengan menggunakan *natural response*:

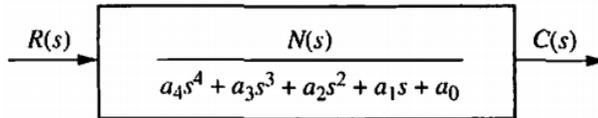
1. Sebuah sistem dikatakan stabil apabila *natural response* mendekati nol dan waktu mendekat tak hingga.
2. Sebuah sistem dikatakan tidak stabil apabila *natural response* mendekati tak hingga dan waktu juga mendekati tak hingga.
3. Sebuah sistem dikatakan *marginally stable* (sedikit stabil) apabila *natural response* tidak memiliki kecenderungan naik atau turun, tetapi tetap konstan atau osilasi.

Salah satu metode untuk menentukan stabilitas sistem adalah dengan metode Routh-Hurwitz. Metode ini dapat digunakan untuk menentukan berapa banyak *poles* pada sistem kontrol *closed-loop* yang terdapat pada *left half-plane*, *right half-plane* dan pada sumbu $j\omega$. Kita dapat menemukan berapa banyak *poles* di masing-masing bagian pada s -plane, tanpa menemukan koordinatnya. Metode ini disebut sebagai *Routh-Hurwitz criterion* untuk stabilitas [17].

Metode ini membutuhkan 2 tahap, tahap pertama adalah membangun tabel yang berisikan data yang dinamakan *Routh table* dan yang kedua menginterpretasikan *Routh table* untuk menunjukkan berapa banyak poles dari *closed-loop system* yang terdapat pada *left half-plane*, *right half-plane* dan pada sumbu $j\omega$. Kelebihan pada metode ini lebih mengarah pada desain daripada analisis, bahwa melalui metode *Routh-Hurwitz criterion* dapat menghasilkan persamaan *closed-form* pada interval dari parameter yang tidak diketahui. [16]

Untuk membangun *Routh table*, lihat pada Gambar 2.12 sebagai *transfer function* dari sistem *closed-loop*. Langkah yang harus dilakukan adalah dengan membuat *Routh table* seperti tabel

2.4 dengan label pada *row* berupa s berawal dari pangkat tertinggi dari penyebut pada *transfer function* hingga s^0 . Pada kolom selanjutnya dimulai dengan menuliskan koefisien s dengan pangkat tertinggi.



Gambar 2.12 *Equivalent closed-loop transfer function*

Secara sederhana pada *Routh-Hurwitz criterion* dapat dinyatakan bahwa jumlah *roots* atau akar-akar dari polinomial yang berada di *right half-plane* sama dengan jumlah perubahan tanda di kolom pertama pada *Routh table*. Jika pada *transfer function* suatu sistem *close-loop* semua *poles* terdapat pada *right half-plane*, sistem dinyatakan stabil. Demikian juga, sebuah sistem dikatakan stabil apabila tidak ada perubahan tanda pada kolom pertama dari *Routh table*.

Tabel 2.4 *Completed Routh table*

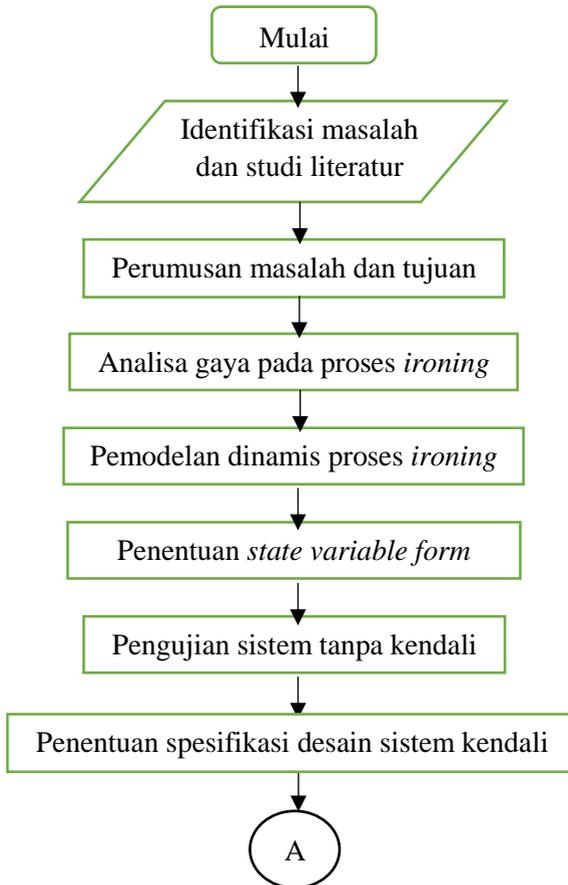
s^4	a_4	a_2	a_0
s^3	a_3	a_1	0
s^2	$\frac{-\begin{vmatrix} a_4 & a_2 \\ a_3 & a_1 \end{vmatrix}}{a_3} = b_1$	$\frac{-\begin{vmatrix} a_4 & a_0 \\ a_3 & 0 \end{vmatrix}}{a_3} = b_2$	$\frac{-\begin{vmatrix} a_4 & 0 \\ a_3 & 0 \end{vmatrix}}{a_3} = 0$
s^1	$\frac{-\begin{vmatrix} a_3 & a_1 \\ b_1 & b_2 \end{vmatrix}}{b_1} = c_1$	$\frac{-\begin{vmatrix} a_3 & 0 \\ b_1 & 0 \end{vmatrix}}{b_1} = 0$	$\frac{-\begin{vmatrix} a_3 & 0 \\ b_1 & 0 \end{vmatrix}}{b_1} = 0$
s^0	$\frac{-\begin{vmatrix} b_1 & b_2 \\ c_1 & 0 \end{vmatrix}}{c_1} = d_1$	$\frac{-\begin{vmatrix} b_1 & 0 \\ c_1 & 0 \end{vmatrix}}{c_1} = 0$	$\frac{-\begin{vmatrix} b_1 & 0 \\ c_1 & 0 \end{vmatrix}}{c_1} = 0$

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

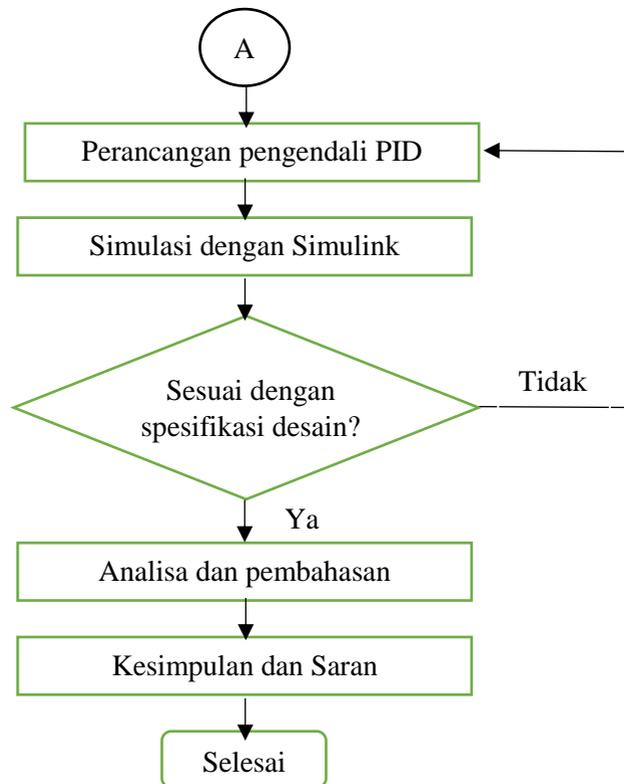
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 *Flowchart* Penelitian

Tahapan-tahapan penelitian tugas akhir ini secara sederhana dapat digambarkan pada flowchart seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Flowchart penelitian



Gambar 3. 2 *Flowchart* penelitian (lanjutan)

3.2. Langkah-Langkah Penelitian

Proses perancangan sistem kontrol untuk proses *ironing pada* pembuatan selongsong peluru dapat dibagi dalam beberapa tahapan sebagai berikut:

3.2.1 Identifikasi Masalah dan Studi Literatur

Tahap pertama dari penelitian tugas akhir adalah identifikasi masalah dan studi literatur. Identifikasi masalah dilakukan untuk menentukan permasalahan apa yang akan dijadikan sebagai objek penelitian tugas akhir, sedangkan studi literatur dilakukan sebagai

upaya untuk memperdalam pemahaman mengenai permasalahan yang akan dibahas. Studi literatur dilakukan dengan membaca *textbook* maupun *e-book*, *journal*, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan proses *ironing*, pemodelan sistem dinamis, perancangan sistem kendali PID dan parameter-parameter dalam proses *ironing* yang berpengaruh pada respon sistem kendali.

3.2.2 Perumusan Masalah dan Tujuan

Perumusan masalah didasarkan pada permasalahan yang akan diselesaikan melalui penelitian tugas akhir. Perumusan masalah juga didasarkan pada studi literatur yang telah dilakukan sebagai dasar pola berpikir dalam melakukan penelitian dan menentukan batasan-batasan yang akan digunakan. Hal ini dilakukan supaya penelitian dapat dilakukan secara sistematis

3.2.3 Analisa Gaya pada Proses *Ironing*

Analisa gaya pada proses *ironing* dilakukan untuk menentukan parameter apa saja yang berpengaruh dalam proses *ironing* dan bagaimana pengaruhnya terhadap produk yang dihasilkan. Analisa dilakukan dengan perhitungan-perhitungan yang diperlukan dalam perhitungan gaya dan sistem hidrolik. Gaya yang didapat digunakan untuk mencari perkiraan tekanan kerja, sehingga bisa dilakukan pemilihan tipe *solenoid valve* yang akan digunakan. Perencanaan sistem hidrolik sebagai sumber tenaga dari alat digambarkan secara skematik dengan menggunakan software FluidSIM.

3.2.4 Pemodelan Dinamis Proses *Ironing*

Pemodelan dinamis proses *ironing* dilakukan untuk mendapatkan persamaan gerak matematis pada proses *ironing*. Pemodelan dilakukan berdasarkan hasil analisa dan desain proses *ironing* dengan harapan model yang dibangun mampu mendekati realita. Model yang dibangun merupakan pemodelan sistem fluida dengan penggerak bertenaga hidrolik. Beberapa variabel yang berpengaruh pada sistem ini adalah *flow rate*, volume, ketinggian liquid dan tekanan.

3.2.5 Penentuan *State Variable Form*

Penentuan *state variable form* didasarkan pada persamaan gerak matematis yang telah didapatkan pada tahap pemodelan sistem dinamis proses *ironing*. Persamaan gerak ini akan diubah menjadi *state variable form* untuk ditransformasi ke dalam bentuk matriks supaya dapat diuji keterkendaliannya.

3.2.6 Pengujian Sistem Tanpa Kendali

Pengujian sistem tanpa kendali bertujuan untuk melihat bagaimana respon transien dari sistem yang belum diberi sistem kendali PID. Pengujian menggunakan *State Variable Form* yang telah diperoleh sebelumnya. Hasil respon transien dari sistem natural juga untuk menentukan apakah sistem perlu dilakukan perbaikan atau peningkatan pada respon transien.

3.2.7 Penentuan Spesifikasi Desain Sistem Kendali

Parameter yang akan dievaluasi untuk dijadikan bahan pengujian performa sistem dengan menentukan nilai dari *settling time*, *%overshoot* dan kebutuhan parameter lainnya yang perlu dijadikan sebagai acuan. Penentuan nilai ini dilakukan berdasarkan pendekatan-pendekatan nilai yang umumnya terjadi pada realita proses *ironing*. Nilai yang ditentukan memiliki interval atau batas minimal dan maksimal. Sistem kendali yang akan dirancang diharapkan memiliki nilai *overshoot* kurang dari 5% dengan *settling time* kurang dari 1 detik sehingga proses dapat berjalan dengan baik.

3.2.8 Perancangan Pengendali PID

Perancangan sistem kendali PID dilakukan untuk mengoptimalkan performa pada sistem yang telah dibuat. Terdapat 3 parameter nilai yang bisa dioptimalkan dengan sistem kendali PID, yaitu nilai K_p , K_i dan K_d . Nilai dari ketiga parameter tersebut bisa ditentukan dengan metode *Zieger-Nichols*.

3.2.9 Simulasi dengan Matlab Simulink

Simulasi dilakukan untuk mengetahui bagaimana respon sistem kendali PID terhadap parameter input yang diberikan. Hasil

simulasi berupa grafik respon dari sistem yang kemudian akan dianalisa. Grafik respon akan menunjukkan apakah sistem yang telah dibuat stabil atau tidak stabil.

3.2.10 Analisa dan Pembahasan

Analisa dan pembahasan akan menguraikan grafik respon kestabilan yang dihasilkan dari simulasi Matlab Simulink. Bila telah sesuai dengan desain sistem kontrol akan ditentukan nilai gain yang diperlukan dalam proses perancangan sistem kontrol kemudian diambil penarikan kesimpulan dari penelitian, namun bila belum sesuai akan dibahas penyebabnya untuk dijadikan saran dan penarikan kesimpulan.

3.2.11 Kesimpulan dan Saran

Tahap terakhir adalah mengambil kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan yang diambil meliputi hal-hal penting dalam pengembangan konsep dan perancangan sistem kontrol, sedangkan saran mencakup hasil evaluasi dan rekomendasi untuk proses pengembangan selanjutnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Analisa Gaya pada Proses *Ironing*

Analisa gaya pada proses *ironing* mencakup perhitungan gaya yang dibutuhkan pada setiap tahapan proses *ironing* yang dilakukan. Analisa perhitungan gaya yang digunakan sesuai dengan persamaan 2.5 dan persamaan 2.6 pada bab sebelumnya. Gambar 2.1 menunjukkan ilustrasi benda kerja yang digunakan pada proses *ironing* yang dilakukan.



Gambar 4.1 Benda kerja hasil proses *deep drawing*

Untuk perhitungan proses *ironing* tahap pertama dengan data awal:

Material yang digunakan	= Kuningan (Cu30% Zn70%)
d_{in}	= 31,2 mm
d_{out}	= 40,2 mm
UTS (<i>ultimate tensile strength</i>)	= 339 Mpa

diperoleh nilai luasan *cross section* dari material sebesar:

$$A_0 = \frac{\pi}{4} (d_{out}^2 - d_{in}^2) \quad (4.1)$$

$$A_0 = \frac{\pi}{4} (40,2^2 - 31,2^2) \quad (4.2)$$

$$A_0 = 504,6968 \text{ mm}^2 \quad (4.3)$$

dengan rasio pengurangan ketebalan sebesar 26% diperoleh nilai diameter luar setelah proses *ironing* tahap pertama sebesar 37,86 mm dengan nilai luasan *cross section* sebesar:

$$A_1 = \frac{\pi}{4} (37,86^2 - 31,2^2) \quad (4.4)$$

$$A_1 = 361,2357 \text{ mm}^2 \quad (4.5)$$

dari nilai A_0 dan A_1 diperoleh nilai φ_{max} dari persamaan 2.9 sebesar:

$$\varphi_{max} = \ln \left(\frac{A_0}{A_1} \right) \quad (4.6)$$

$$\varphi_{max} = \ln \left(\frac{504,6968}{361,2357} \right) \quad (4.7)$$

$$\varphi_{max} = 0,3344 \quad (4.8)$$

Nilai tegangan *shear* rata-rata diperoleh dari persamaan 2.7 dengan nilai $\sigma_{f,0}$ dan $\sigma_{f,1}$ pada persamaan 2.8, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\sigma_{f,0} = 250 \text{ N/mm}^2 \quad (4.9)$$

$$\sigma_{f,1} = 880 (\varphi_{max}^{0,433}) \quad (2.8)$$

$$= 880 (0,3344^{0,433}) \quad (4.10)$$

$$= 547,6527 \text{ N/mm}^2 \quad (4.11)$$

diperoleh:

$$\sigma_{f,m} = \frac{1}{2}(\sigma_{f,0} + \sigma_{f,1}) \quad (2.7)$$

$$\sigma_{f,m} = \frac{1}{2}(250 + 547,6527) \quad (4.12)$$

$$\sigma_{f,m} = 398,8263 \text{ N/mm}^2 \quad (4.13)$$

Koefisien gaya gesek pada *die shoulder* (μ_s) untuk proses *ironing* sebesar 0,05 dari tabel 2.1. Sudut die (α) yang digunakan sebesar 10° , sehingga diperoleh gaya *ironing* (F_i) yang dibutuhkan untuk proses *ironing* sebagaimana persamaan 2.6 pada proses *ironing* tahap pertama sebesar:

$$F_i = A_1 \sigma_{f,m} \left[\left(1 + \frac{2\mu_s}{\sin 2\alpha} \right) \varphi_{max} + \frac{1}{2} \hat{\alpha} \right] \quad (2.6)$$

$$F_i = 361,2357 \times 398,8263 \left[\left(1 + \frac{2 \times 0,05}{\sin 20} \right) \times 0,3344 + \frac{1}{2} \tan 10 \right] \quad (4.14)$$

$$F_i = 74969,9902 \text{ N} \quad (4.15)$$

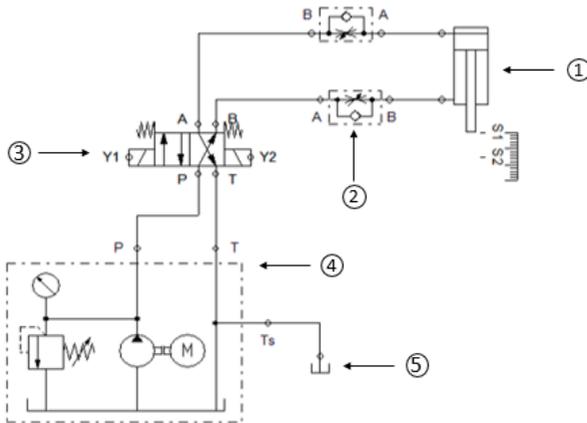
Gaya *ironing* yang dibutuhkan untuk proses selanjutnya dapat diperoleh dengan cara yang sama dengan hasil terlampir pada tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Hasil perhitungan gaya pada proses *ironing*

	data awal	proses <i>ironing</i> 1	proses <i>ironing</i> 2	proses <i>ironing</i> 3	proses <i>ironing</i> 4
d_{in}	31,2 mm	31,2 mm	31,2 mm	31,2 mm	31,2 mm
d_{out}	40,2 mm	37,86 mm	36,13 mm	34,85 mm	33,8987 mm
F_{tot}	-	74.969,99 KN	72.431,09 KN	51.275,54 KN	36.672,14 KN

4.2 Sistem Hidrolik pada Pembuatan Selongsong Peluru

Sistem hidrolik berfungsi sebagai sumber daya pada pembuatan selongsong peluru. Komponen yang digunakan pada sistem hidrolik adalah *hydraulic power pack*, tanki hidrolik, *one-way control valve*, solenoid valve dan aktuator. Skematik sistem hidrolik pada Gambar 4.2 dibuat dengan menggunakan *software FluidSIM*.



Gambar 4.2 Skematik sistem hidrolik yang diterapkan

Keterangan:

- | | | | |
|---|-------------------------------------|---|--------------------|
| 1 | : <i>double acting cylinder</i> | 4 | : <i>pump unit</i> |
| 2 | : <i>one-way flow control valve</i> | 5 | : <i>tank</i> |
| 3 | : <i>4/2-way solenoid valve</i> | | |

Gerak aktuator di tentukan oleh besarnya kapasitas dan tekanan fluida yang masuk. Tekanan fluida akan mempengaruhi besarnya gaya yang dihasilkan aktuator sedangkan kapasitas fluida akan mempengaruhi kecepatan dan langkah aktuator. Kecepatan gerak aktuator juga bisa diatur dengan *one-way flow control valve*.

Salah satu parameter yang digunakan untuk menentukan jenis atau tipe dari *one-way flow control valve* yang akan digunakan sekaligus dikontrol adalah tekanan operasi. Nilai dari tekanan operasi dapat ditentukan berdasarkan nilai gaya yang dibutuhkan pada proses *ironing* yang telah dianalisis dengan hasil yang terdapat pada tabel 4.1. Pada proses *ironing* tahap pertama dapat dengan tekanan masuk (P_1) ditentukan sebesar 70 bar dilakukan analisis perhitungan dari persamaan 2.15 :

$$P_1 A_1 - P_2 A_2 = m \frac{d^2 y}{dt^2} + F_{tot} \quad (2.15)$$

$$(7 \times 10^6) \frac{N}{m^2} \times 0,01227 m^2 - P_2 (0,0028 m^2) \\ = 8,2 kg \times 9,81 \frac{m}{s^2} + 74.969,99 N \quad (4.16)$$

$$P_2 = 38,3828 bar \quad (4.17)$$

dengan menggunakan cara yang sama diterapkan pada setiap proses *ironing* dengan nilai P_1 yang telah ditentukan, didapat nilai P_2 pada tabel 4.2.

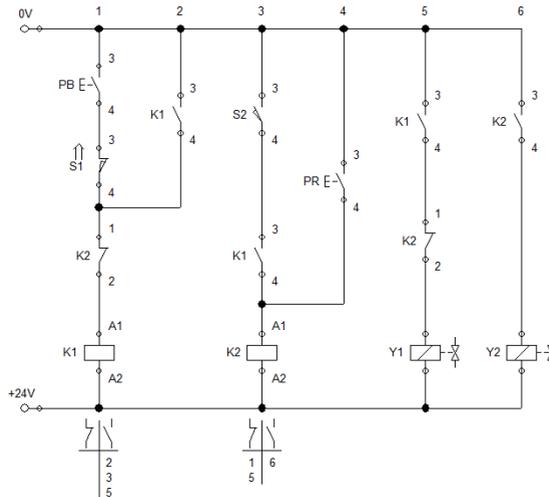
Tabel 4.2 Tekanan yang dibutuhkan untuk gerak *punch* pada setiap proses *ironing*

	proses ironing 1	proses ironing 2	proses ironing 3	proses ironing 4
P_1	70 bar	50 bar	40 bar	30 bar
P_2	38,3828 bar	30,5341 bar	41,0285 bar	35,0236 bar

Sehingga dalam melakukan pemilihan jenis *solenoid valve* sebaiknya yang dapat bekerja pada tekanan operasi 70 bar.

Besarnya kapasitas aliran fluida yang masuk ke aktuator diatur oleh *4/2-way solenoid valve*. Solenoid valve merupakan katup yang dikendalikan dengan arus listrik baik AC maupun DC melalui kumparan atau selenoida. Solenoid valve akan bekerja bila kumparan atau coil mendapatkan tegangan arus listrik yang sesuai

dengan tegangan kerja pada proses ironing tegangan yang diaplikasikan adalah 24V dengan arus DC. Gaya magnet yang dihasilkan dari kumparan solenoida akan menarik atau mendorong sebuah pin yang akan mengalirkan fluida dari pompa menuju aktuator. Rangkaian listrik untuk mengatur solenoid valve digambarkan pada Gambar 4.3 yang terdiri dari *relay*, *push button on/off*, *push button reset*, *valve solenoid*, dan *switch*.



Gambar 4.3 Relay diagram untuk solenoid valve

Keterangan:

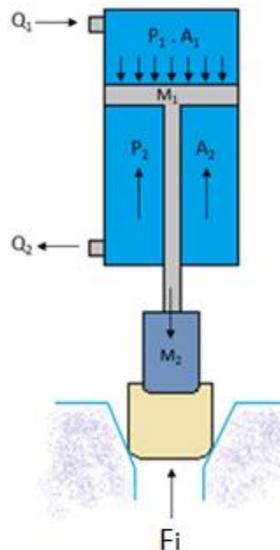
PB : <i>push button on/off</i>	S1 : <i>sensor proximity</i> pada pangkal aktuator
K1 : <i>relay 1</i>	S2 : <i>sensor proximity</i> pada jarak langkah tertentu
K2 : <i>relay 2</i>	Y1 : <i>solenoid valve</i> pada sisi kiri
PR : <i>push button reset</i>	Y2 : <i>solenoid valve</i> pada sisi kanan

4.3 Pemodelan sistem *ironing*

Pemodelan sistem *ironing* dibagi dalam 2 pemodelan yaitu pemodelan pada gerak punch yang dipengaruhi oleh sistem hidrolik sebagai sumber daya dan pemodelan *solenoid valve* untuk mengontrol jumlah kapasitas fluida kerja.

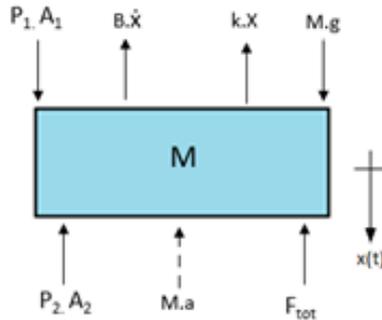
4.3.1 Pemodelan gerak *punch* pada proses *ironing*

Gerak aktuator hidrolik merupakan gerak dinamis, sehingga gaya yang dihasilkan oleh aktuator dipengaruhi oleh kapasitas (Q) dan tekanan (P) dari fluida yang masuk dan keluar, luas permukaan torak pada sisi masuk (A_1) dan keluar (A_2), massa beban (M_1 dan M_2), gravitasi (g), gaya gesekan dan *punch force* (F_{tot}). Ilustrasi mekanisme dari proses *ironing* yang dilakukan terdapat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Ilustrasi gerak mekanis proses *ironing* pada pembuatan selongsong peluru

Massa beban yang terdapat pada Gambar 4.3 meliputi massa batang torak dan torak (M_1) dan massa *punch* (M_2), sehingga diperoleh persamaan untuk *free body diagram* seperti pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 *Free body diagram* pada *punch*

Keterangan:

P_1 : tekanan fluida masuk	M_1 : massa <i>rod</i>
A_1 : luas area torak masukan	M_2 : massa <i>punch</i>
P_2 : tekanan fluida keluar	F_i : gaya pada proses <i>ironing</i>
A_2 : luas area torak keluaran	g : gravitasi

Variabel M pada persamaan 4.18 merupakan massa gabungan, didapat:

$$M = M_1 + M_2 \quad (4.18)$$

$$M = (2,4 + 3,6)kg + 2,2 kg \quad (4.19)$$

$$M = 8,2 kg \quad (4.20)$$

Gerak aktuator hidrolik merupakan gerak dinamis sehingga dari Gambar 4.5 juga bisa diperoleh persamaan gerak dinamis untuk gerak punch sebagaimana persamaan 4.21.

$$M \cdot \ddot{x} + B \cdot \dot{x} + K \cdot x = P_1 A_1 - P_2 A_2 - F_i + M \cdot g \quad (4.21)$$

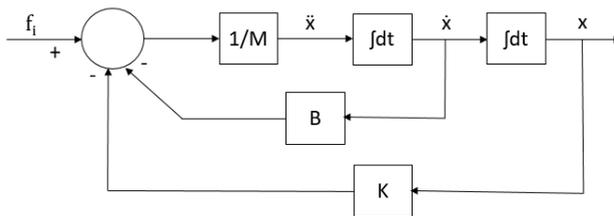
Pada ruas kanan terdapat gaya total untuk 1 kali proses ironing yang dinyatakan dalam simbol F_{tot} sesuai dengan persamaan 4.22:

$$F_{tot} = P_1 A_1 - P_2 A_2 - F_i + M \cdot g \quad (4.22)$$

dari persamaan 4.21 diperoleh *state variable form* sebagaimana persamaan 4.23 dan 4.24 dan persamaan *transfer function* sebagaimana persamaan 4.26. Persamaan ini dapat digambarkan dengan blok diagram sebagaimana Gambar 4.6

$$\dot{x} = v \quad (4.23)$$

$$\ddot{x} = \frac{1}{M} [F_{tot} - B \cdot \dot{x} - K \cdot x] \quad (4.24)$$



Gambar 4.6 *Block diagram* untuk pemodelan gerak *punch* dari persamaan 4.21 dan 4.22 diperoleh:

$$(Ms^2 + Bs + K)X = F_{tot} \quad (4.25)$$

sehingga diperoleh *transfer function*:

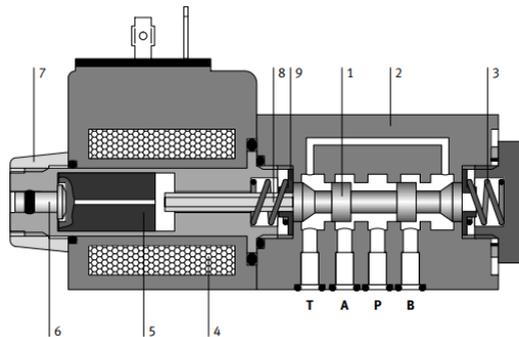
$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{Ms^2 + Bs + K} \quad (4.26)$$

Nilai koefisien redaman atau *damper* (B) sebesar 20 N.s/m dan koefisien kekakuan atau *stiffness* (K) sebesar 100 N/m² [10], sehingga didapat *transfer function* untuk gerak punch dengan input gaya sebagaimana persamaan 4.24:

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{8,2s^2 + 20s + 100} \quad (4.27)$$

4.3.2 Pemodelan *solenoid valve* pada sistem hidrolik proses *ironing*

Solenoid valve beroperasi berdasarkan pada tegangan listrik yang diberikan pada *coil*. Solenoid yang akan digunakan merupakan *4/2-way solenoid valve* yang diilustrasikan pada Gambar 4.7. Berdasarkan pada Gambar 4.7, hambatan atau resistansi pada solenoid ini terdapat pada *case* atau *frame* dan *coil*. Koefisien *stiffness* atau kekakuan berasal dari *return spring* yang terdapat pada konstruksi solenoid pada bagian kanan dan kiri.

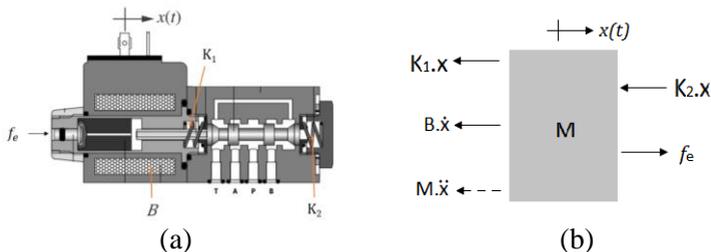


Gambar 4.7 Konstruksi *4/2 way solenoid valve*

Keterangan:

- | | |
|--------------------------|--------------------------------------|
| 1 : <i>piston</i> | 6 : <i>emergency manual override</i> |
| 2 : <i>housing</i> | 7 : <i>nut</i> |
| 3 : <i>spring</i> | 8 : <i>stem</i> |
| 4 : <i>solenoid coil</i> | 9 : <i>spring disc</i> |
| 5 : <i>plunger</i> | |

Free body diagram dari *linear solenoid valve* terdapat pada Gambar 4.8(b). Untuk memperoleh analisa perhitungan yang berhubungan dengan solenoid valve menggunakan persamaan dasar untuk gaya listrik yang terdapat pada persamaan 2.20, sedangkan persamaan untuk gerak mekanis *solenoid valve* terdapat pada persamaan 2.21 kedua persamaan ini akan diaplikasikan pada persamaan hukum tegangan 2.22.



Gambar 4.8 (a) sistem mekanis (b) *Free body diagram* dari *linear solenoid valve*

Persamaan untuk gerak linear dari solenoid valve diperoleh dari Gambar 4.9 (b) sebagaimana analisa pada persamaan-persamaan berikut:

$$M \cdot \ddot{x} + B \cdot \dot{x} + (K_1 + K_2) \cdot x = f_e \quad (4.28)$$

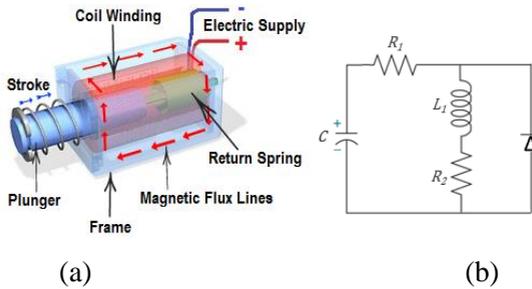
Dari persamaan 2.21 diperoleh:

$$M \cdot \ddot{x} + B \cdot \dot{x} + (K_1 + K_2)x = \alpha i \quad (4.29)$$

$$[Ms^2 + Bs + (K_1 + K_2)] X = \alpha I \quad (4.30)$$

dimana $\alpha = 2\pi aN\beta$

Pada Gambar 4.8 terdapat keterangan untuk memperoleh diagram seri-analog seperti pada Gambar 4.9 (a) dan representasi untuk sistem elektrik pada Gambar 4.9 (b) dimana resistor dilambangkan dengan huruf R, induktor dengan huruf L dan kapasitor dengan huruf C.



Gambar 4.9 (a) Konstruksi *solenoid valve* dan (b) representasi elektrik pada *solenoid valve*

dengan menerapkan hukum tegangan untuk *single loop* yang menimbulkan energi listrik pada sistem untuk gerak linier terdapat pada persamaan 2.22.

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \alpha v = e_i \quad (2.22)$$

$$L \frac{di}{dt} + (R_1 + R_2)i + \alpha v = e_i(t) \quad (4.31)$$

diperoleh *state variable*:

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{L} [-\alpha v - (R_1 + R_2)i + e_i(t)] \quad (4.32)$$

$$\dot{x} = v \quad (4.33)$$

$$\ddot{x} = \frac{1}{M} [\alpha i - (K_1 + K_2)x - B\dot{x} - f_a(t)] \quad (4.34)$$

dimana $\alpha = 2N\beta\pi a$, kemudian dari persamaan 4.31 diperoleh:

$$[(L_1 + L_2)s + R_1 + R_2]I(s) + \alpha X(s) = E(s) \quad (4.35)$$

$$I = \frac{E(s) - \alpha X(s)}{Ls + R_1 + R_2} \quad (4.36)$$

Dengan melakukan substitusi persamaan 4.36 ke persamaan 4.30 didapatkan persamaan:

$$[Ms^2 + Bs + (K_1 + K_2)]X = \alpha \left(\frac{E(s) - \alpha X(s)}{Ls + R_1 + R_2} \right) \quad (4.37)$$

$$[Ls + R_1 + R_2][Ms^2 + Bs + (K_1 + K_2)]X(s) + \alpha^2 X(s) = \alpha E(s) \quad (4.38)$$

dari persamaan 4.38 diperoleh *transfer function* pada sistem *solenoid valve* dengan *input* berupa tegangan dan *output* berupa perubahan posisi *spool* sebagai berikut:

$$\frac{X(s)}{E(s)} = \frac{\alpha}{[Ls + R_1 + R_2][Ms^2 + Bs + (K_1 + K_2)] + \alpha^2} \quad (4.39)$$

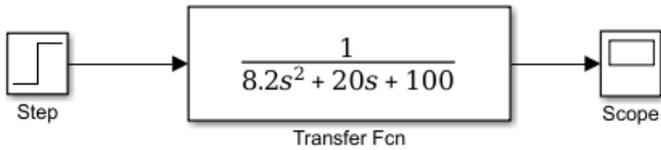
Nilai dari masing-masing parameter pada solenoid yang digunakan diperoleh dari data solenoid valve diantaranya nilai untuk induktansi (L) = 0,59 H, hambatan (R₁) = 100 Ohm, hambatan (R₂) = 50 Ohm, koefisien *viscous damper* (B) diperoleh dari gaya gesek sebesar 1,4 N.s/m, flux magnet (β)= 4 volt.s, massa (M)= 3.15 kg, jumlah coil (N) = 40, jari-jari coil (a) = 0.05 m dan nilai koefisien *stiffness* (K) =9.8 N/m. Maka diperoleh nilai *transfer function* H(s) pada persamaan 4.39 :

$$\frac{X(s)}{E(s)} = \frac{50,2655}{3,717s^3 + 474,152s^2 + 213,99s + 3035,0905} \quad (4.40)$$

4.4 Pengujian *open loop*

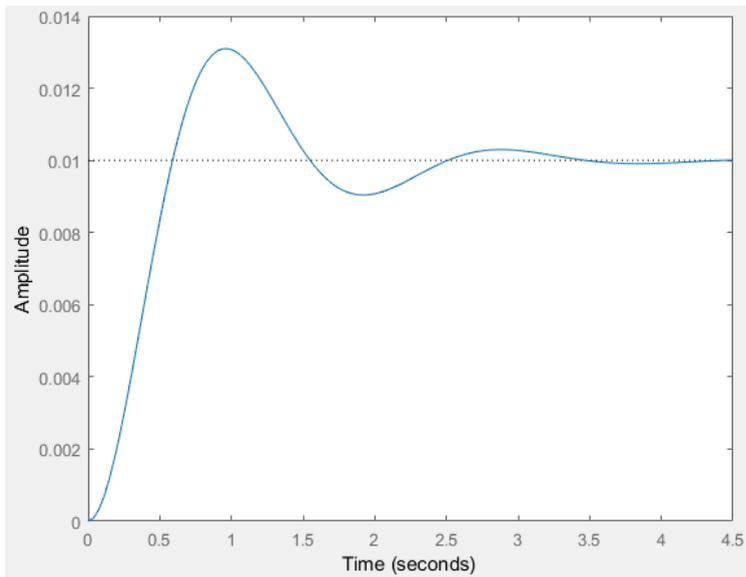
Pengujian *open loop* dilakukan untuk melihat respon sistem secara alami juga untuk mengetahui apakah sistem stabil atau tidak stabil. Pengujian ini juga bertujuan untuk menentukan parameter apa saja yang perlu dilakukan peningkatan atau perbaikan. Pengujian *open loop* dilakukan pada gerak *punch* dan pada *solenoid valve*.

4.4.1 Pengujian *open loop* pada *punch*



Gambar 4.10 Blok diagram untuk gerak *punch*

Pengujian *open loop* pada gerak *punch* dilakukan pada proses memiliki *transfer function* seperti pada persamaan 4.27. Simulasi dilakukan dengan menggunakan Matlab-Simulink seperti pada Gambar 4.10 dengan input step. Hasil simulasi menunjukkan nilai *overshoot* sebesar 31%, *settling time* 3.15 detik, *rise time* 0.399 detik dan *steady state error* sebesar $1 - 0,01 = 0,99$. Grafik respon dari sistem terdapat pada Gambar 4.11.



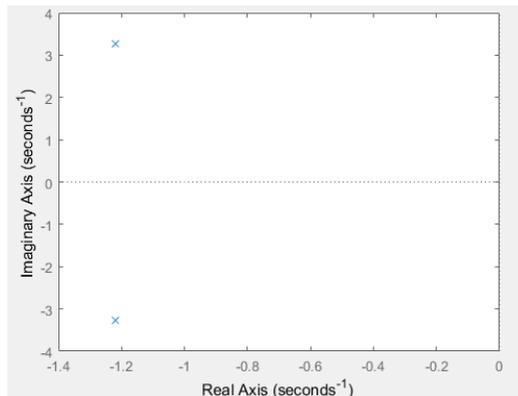
Gambar 4.11 Step response pada gerak *punch*

Pengujian stabilitas pada gerak punch dilakukan dengan metode routh hurwitz sebagaimana pada tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Tabel Routh Hurwitz pada pengujian stabilitas gerak punch

s^2	8,2	100
s^1	20	0
s^0	$\frac{-\begin{vmatrix} 8,2 & 100 \\ 20 & 0 \end{vmatrix}}{20} = 100$	$\frac{-\begin{vmatrix} 8,2 & 0 \\ 20 & 0 \end{vmatrix}}{20} = 0$

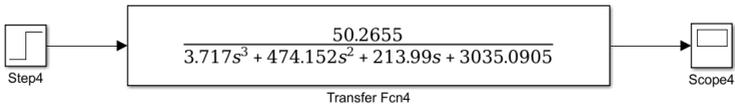
Pada Tabel 4.3 di kolom kedua tidak terdapat perubahan tanda sehingga sistem dapat dinyatakan sebagai sistem yang stabil. Pengujian stabilitas juga bisa dilakukan dengan melihat akar-akar atau *pole* pada *s-plane*, apabila semua akar terdapat pada sisi kiri *s-plane* maka sistem dapat dikatakan stabil, seperti pada Gambar 4.12. Sistem memiliki *dominant pole* pada $-1.2195 \pm 3.2723i$ dengan *damping ratio* 0.357 dan frekuensi 3.42 rad/s. Sistem ini memiliki dua *pole* yang keduanya terdapat di sisi kiri *s-plane*.



Gambar 4.12 Posisi *pole* pada *s-plane* untuk pemodelan gerak *punch*

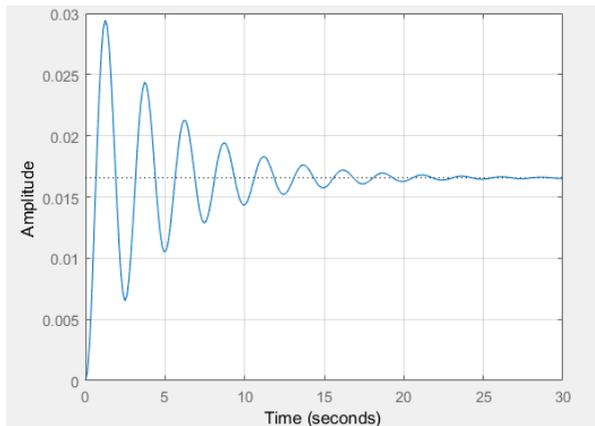
Sistem ini memiliki nilai *overshoot* sebesar 31% berpotensi untuk mengurangi kualitas benda kerja, begitu pula dengan *settling time* selama 3,15 detik untuk produksi yang banyak tergolong cukup lambat. Sehingga meskipun sistem dikatakan stabil namun perlu dilakukan perancangan sistem kendali untuk memperbaiki respon transien tersebut.

4.4.2 Pengujian *open loop* pada *solenoid valve*



Gambar 4.13 *Transfer function* pada *solenoid valve*

Solenoid valve memiliki *transfer function* seperti pada persamaan 4.40 dan disimulasikan pada *simulink* seperti pada Gambar 4.13. Hasil simulasi menunjukkan nilai *overshoot* sebesar 77,8%, *settling time* 18.9 detik, *rise time* 0,438 detik dan *steady state error* sebesar $1 - 0,0166 = 0,9834$. Grafik respon dari proses *solenoid valve* seperti pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 *Step response* pada *solenoid valve*

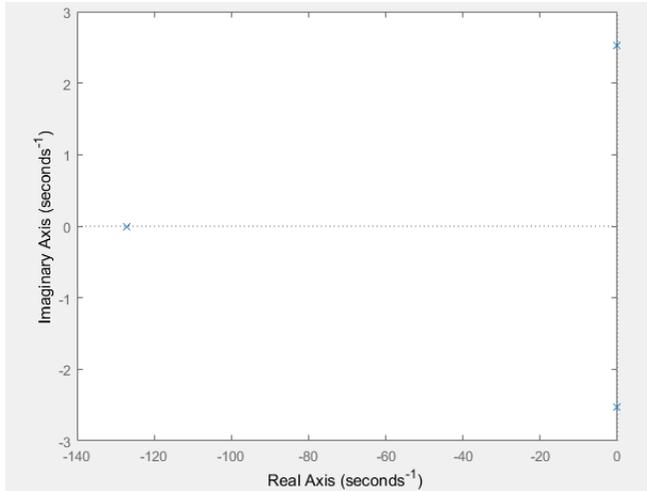
Pengujian stabilitas pada gerak punch dilakukan dengan metode routh hurwitz sebagaimana pada tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Tabel Routh Hurwitz pada pengujian *solenoid valve*

s^3	3,717	213,99
s^2	474,152	3035,09
s^1	$\frac{- \begin{vmatrix} 3,717 & 213,99 \\ 474,152 & 3035,09 \end{vmatrix}}{474,152} = 190,197$	$\frac{- \begin{vmatrix} 3,717 & 0 \\ 474,152 & 0 \end{vmatrix}}{474,152} = 0$
s^0	$\frac{- \begin{vmatrix} 474,152 & 3035,0905 \\ 190,197 & 0 \end{vmatrix}}{190,197} = 3035,09$	$\frac{- \begin{vmatrix} 474,152 & 0 \\ 190,197 & 0 \end{vmatrix}}{190,197} = 0$

Pada Tabel 4.4 di kolom kedua tidak terdapat perubahan tanda sehingga sistem dapat dinyatakan sebagai sistem yang stabil. Pengujian stabilitas juga bisa dilakukan dengan melihat akar-akar atau *pole* pada *s-plane*, apabila semua akar terdapat pada sisi kiri *s-plane* maka sistem dapat dikatakan stabil, seperti pada Gambar 4.15. *Dominant pole* pada sistem $-0.201 \pm 2.53i$ dengan *damping ratio* 0.0794 dan frekuensi 2.53 rad/s. Sistem ini memiliki tiga *pole* yang ketiganya terdapat di sisi kiri *s-plane*, sehingga sistem dapat dinyatakan stabil.

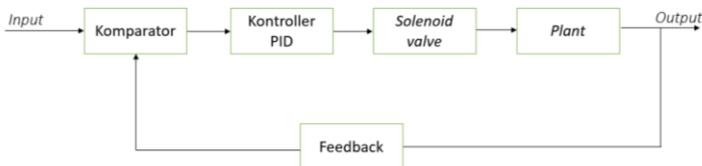
Sistem ini memiliki nilai *overshoot* sebesar 77,8% merupakan nilai yang besar dan berpotensi untuk mengurangi kualitas benda kerja, begitu pula dengan *settling time* selama 18,9 detik bisa dikatakan lambat. Sehingga meskipun sistem dikatakan stabil namun perlu dilakukan perancangan sistem kendali untuk memperbaiki respon transien tersebut.



Gambar 4.15 Lokasi *pole* pada *plant solenoid valve*

4.5 Desain Kendali PID

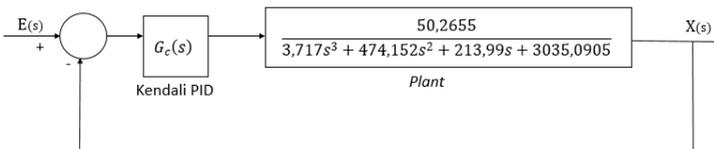
Solenoid valve berperan untuk mengatur kapasitas aliran yang akan dialirkan ke aktuator, dimana kapasitas merupakan fungsi dari kecepatan aliran dan luas area *cross section* dari aliran. *Solenoid valve* bekerja dengan mengatur besar bukaan *valve* yang akan mengalirkan fluida hidrolis, semakin besar bukaan *valve* maka semakin kecil kecepatan alir pada fluida kerja, begitu pula sebaliknya. Besarnya bukaan *valve* atau katup bergantung pada tegangan yang diinputkan pada *solenoid valve*. Diagram blok sederhana dari sistem kontrol seperti pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Diagram blok sederhana pada sistem kendali

4.5.1 Desain Kendali PID dengan Metode Ziegler Nichols

Terdapat beberapa metode analisis untuk membantu dalam membuat desain kendali PID kendali PID. Metode analisis yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah metode Ziegler Nichols, untuk mendapatkan parameter K_p , T_i , T_d . Gambar 4.17 merupakan sistem kendali PID yang akan diterapkan, dimana $G_c(s)$ seperti pada persamaan 2.25.



Gambar 4.17 Diagram blok sistem kendali PID

Plant atau *transfer function* dari sistem yang akan dikendalikan harus diolah dahulu dari *open loop transfer function* menjadi *closed loop transfer function* dengan menentukan $T_i = \infty$ dan $T_d = 0$ diperoleh *transfer function* sebagaimana berikut:

$$\frac{X(s)}{E(s)} = \frac{50,2655 K_p}{3,717s^3 + 474,152s^2 + 213,99s + 3035,0905 + 50,2655 K_p} \quad (4.41)$$

Nilai variabel K_p dapat membuat sistem menjadi *marginally stable* sehingga dapat terjadi osilasi pada sistem dengan menggunakan *Routh's stability criterion*, dari persamaan di atas diperoleh persamaan untuk *closed-loop system* sebagai berikut:

$$3,717s^3 + 474,152s^2 + 213,99s + 3035,0905 + 50,2655 K_p = 0 \quad (4.42)$$

dari persamaan tersebut diperoleh *Routh array* atau *Routh table* sebagaimana pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Tabel Routh Hurwitz untuk perancangan sistem kendali PID

s^3	3,717	213,99
s^2	474,152	$3035,0905 + 50,2655 K_p$
s^1	$190,1971 + 0,394 K_p$	0
s^0	$3035,0905 + 50,2655 K_p$	

dari Tabel 4.5 pada kolom pertama osilasi berkelanjutan dapat terjadi apabila nilai K_p sebesar 60,3812. Sehingga dari Tabel 2.4 diperoleh *critical gain* $K_{cr} = K_p = 60,3812$. Hal ini membuat persamaan 4.42 menjadi:

$$3,717s^3 + 474,152s^2 + 213,99s + 6070,1817 = 0 \quad (4.43)$$

Osilasi yang berkelanjutan dapat diperoleh dengan melakukan substitusi nilai $s = j\omega$ pada persamaan 4.43, sebagaimana perhitungan berikut:

$$3,717(j\omega)^3 + 474,152(j\omega)^2 + 213,99(j\omega) + 6070,1817 = 0 \quad (4.44)$$

$$3,717j\omega(57,57 - \omega^2) + 474,152(12,802 - \omega^2) = 0 \quad (4.45)$$

didapat nilai yang paling mendekati adalah $\omega^2 = 57,57$ atau $\omega = 7,5875$, sehingga diperoleh nilai $P_{cr} = \frac{2\pi}{\omega} = 0,828$. Hal ini juga berdasarkan dari metode Ziegler Nichols yang menyatakan bahwa nilai P_{cr} merupakan jarak antar amplitudo dari grafik osilasi. Grafik osilasi dari *plant* terdapat pada Gambar 4.18 dimana jarak amplitudo atau $P_{cr} = 1,24 - 0,42 = 0,82$.



Gambar 4.18 Grafik osilasi dari *plant* untuk perancangan sistem kendali pada *solenoid valve*

Nilai masing-masing parameter K_p , T_i , T_d , K_i dan K_d didapat dari tabel 2.4 dengan perhitungan sebagai berikut:

- Nilai K_p

$$K_p = 0,6K_{cr} = 0,6 \times 60,3812 = 36,22872 \quad (4.46)$$
- Nilai T_i

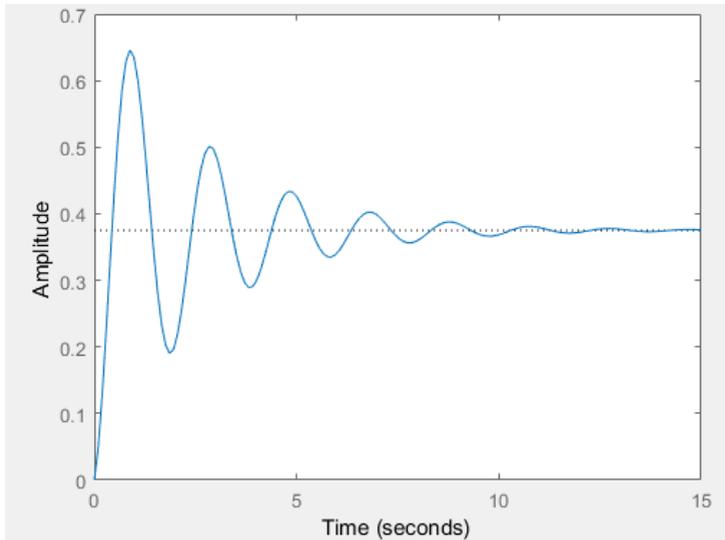
$$T_i = 0,5P_{cr} = 0,5 \times 0,828 = 0,414 \quad (4.47)$$
- Nilai T_d

$$T_d = 0,125P_{cr} = 0,125 \times 0,828 = 0,1035 \quad (4.48)$$
- Nilai K_i

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{36,22872}{0,414} = 87,5089 \quad (4.49)$$
- Nilai K_d

$$K_d = K_p T_d = 36,22872 \times 0,1035 = 3,7497 \quad (4.50)$$

dari parameter tersebut dilakukan simulasi PD dengan *software* Matlab. Hasil simulasi berupa grafik respon transien pada Gambar 4.19.



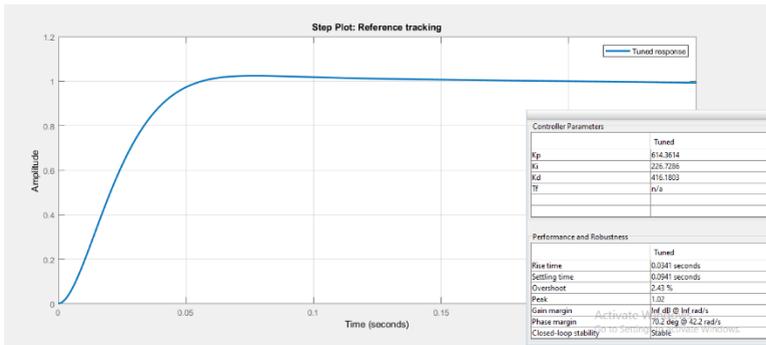
Gambar 4.19 Hasil simulasi PD untuk kendali PID dengan metode Ziegler Nichols

Hasil simulasi PD menunjukkan penurunan nilai *overshoot* yang sangat kecil sebesar 5,7% sehingga nilai overshoot menjadi 72,1%. *Settling time* selama 9,93 detik, *rise time* selama 0.325 detik dan nilai *steady state error* sebesar $1-0.375=0,625$. Hal ini menunjukkan adanya sedikit perbaikan dari sistem, namun masih jauh dari harapan, sehingga perlu dilakukan desain dengan metode lain.

4.5.2 Desain Kendali PID dengan PID Tuner

Metode lain yang dapat dilakukan adalah dengan *fine tuning* [18]. *Fine-tuning* adalah proses di mana parameter suatu model harus disesuaikan sangat tepat agar sesuai dengan pengamatan tertentu. Pada *software* Matlab terdapat program PID Tuner Metode *fine tuner* yang dapat ditampilkan dengan perintah “pidtool(sys)”. Program PID tuner ini ditunjukkan pada Gambar

4.20 untuk melakukan *fine tuning* saat melakukan perancangan sistem kendali PID.

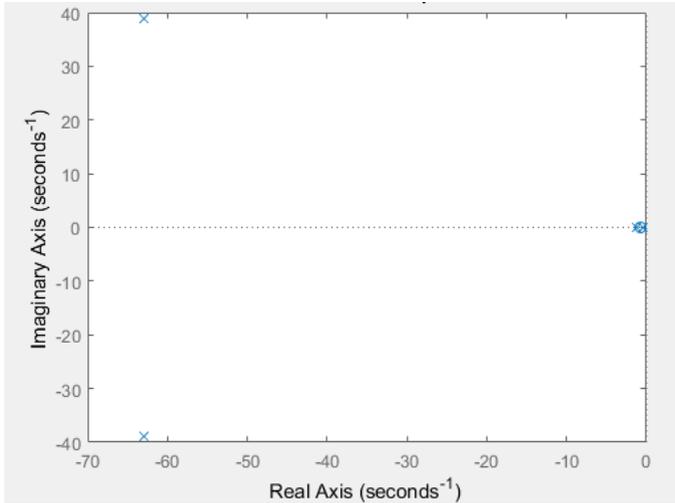


Gambar 4.20 PID Tuner dalam perancangan sistem kendali PID

Metode *fine tuner* yang dilakukan pada perancangan sistem kendali PID menghasilkan parameter nilai *overshoot* sebesar 2,43% yang berarti jauh lebih kecil dari sebelumnya. *Rise time* selama 0.0341 detik dengan *settling time* selama 0.0941 detik. Parameter tersebut didapat dari nilai Kp, Ki dan Kd berturut-turut sebesar 614.3614; 226.7286 dan 416.1803.

4.5.3 Uji Stabilitas pada *Plant* dengan Sistem Kendali

Uji stabilitas diperlukan untuk melihat bagaimana respon sistem setelah diberi kendali PID dengan parameter Kp, Ki dan Kd yang telah ditentukan. Uji stabilitas dilakukan dengan melihat lokasi *pole* dan *zero* dari plant dan sistem kendali yang telah diterapkan. Lokasi *pole* dan *zero* dapat dilihat dengan menggunakan *software* Matlab. Gambar 4.21 menunjukkan hasil uji dengan metode root locus.



Gambar 4.21 *Pole-zero map* pada plant dengan sistem kendali PID

Dominant pole dari sistem yang telah diberi kendali PID adalah $-1,1779$ dan $-0,4753$ serta terdapat *pole* lain yaitu $-62,9550 \pm 38,9051i$. Sistem ini juga memiliki 2 *zero* yaitu $-0,7383$ dan juga $-0,7379$. Semua *pole* dan *zero* terdapat di sisi kiri *s-plane* sehingga sistem dapat dinyatakan sebagai sistem yang stabil.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini berupa beberapa poin, diantaranya:

1. Didapatkan pemodelan persamaan gerak *punch* dalam model matematis yang sesuai dalam proses *ironing* pada pembuatan selongsong peluru berupa persamaan transfer function dengan koefisien massa sebesar 8.2 kg, koefisien damper 20 N.s/m dan koefisien stiffness 100 N/m².
2. Perancangan sistem kendali dilakukan pada solenoid valve untuk mengontrol besar kapasitas fluida yang masuk ke aktuator dengan kecepatan tertentu. Perancangan dilakukan dengan menggunakan metode Ziegler Nichols bisa memperbaiki respon transien dari sistem namun hasilnya masih kurang baik, sehingga dilakukan metode lain yaitu dengan menggunakan program PID Tuner pada *software* Matlab. Hasil dari program PID Tuner menghasilkan %OS sebesar 2.43%, *settling time* sebesar 0.0941 detik dan *rise time* sebesar 0,03415 detik. Hasil ini didapatkan dengan nilai Kp, Ki dan Kd berturut-turut sebesar 614,3614; 226,7286 dan 416,1803.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan setelah menyelesaikan penelitian ini, antara lain:

1. Penelitian lebih lanjut bisa dilakukan dengan mempertimbangkan kebutuhan daya pada sistem hidrolik dan melakukan beberapa eksperimen untuk mendapatkan parameter nilai yang tepat agar hasil yang didapatkan lebih akurat.
2. Penelitian selanjutnya bisa dilakukan dengan implementasi pada peralatan yang telah ada.

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Kalpakjian dan S. R. Schmid, *Manufacturing Engineering and Technology*, United Kingdom: Pearson, 2009.
- [2] K. Lange, *Handbook of Metal Forming*, Michigan: U.S.A., 1985.
- [3] Artur Rękas , Tomasz Latos, Lukasz Brodawka, Maciej Kociolek, Michal Siedlik, Robert Budzyn dan Andrzej Furman, “Numerical Analysis of Multistep Ironing of Thin-wall Aluminium Drawpiece,” dalam *10th European LS-DYNA Conference*, Würzburg, Germany, 2015.
- [4] E. Pérez-Bernabeu, M.A. Sellés, S. Sánchez-Caballero, D. Juárez dan J.E. Crespo, “Modelization of Ironing Process. Application to a Three-layered Polymer Coated Steel,” *Fascicle of Management and Technological Engineering, Volume X (XX), 2011, NR2*, 2011.
- [5] M. N. Ali, “Studi Eksperimental Karakteristik Simulasi Peluru untuk Mengetahui Gaya Pembentukan Minimum dengan Variasi Sudut Ring Ironing Die dan Reduksi Ketebalan Dinding,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015.
- [6] D. Adamovic, M. Stefanovic, M. Plancak dan S. Aleksandrovic, “Journal for Technology of Plasticity, Vol. 33 (2008), Number 1-2,” *Analysis of Change of Total Ironing Force and Friction Force on Punch at Ironing*, pp. 23-37, 2008.
- [7] P. D. Barros, J.L. Alves, M. C. Oliveira, L. F. Menezes, “Earing Evolution During Drawing And Ironing Processes,” *Earing Evolution During Drawing And Ironing Processes*, pp. 1-20, 2014.
- [8] M. N. Ali M., “Simulasi Proses Ironing untuk Mengetahui Gaya Minimum Berdasarkan Variasi Sudut Die Dan

- Reduksi Ketebalan Dinding,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.
- [9] D. A. Dwiyantri, “Rancang Bangun Cup Holder Pada Proses Deep Drawing Pembuatan Selongsong Peluru Kaliber 20 Mm,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [10] M. Kabib, I. M. L. Batan, B. Pramujati dan A. S. Pramono, “Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV),” *Analisa Pemodelan dan Simulasi Gerak Aktuator Punch pada Mesin Pres untuk proses Deep Drawing*, 2015.
- [11] F. W. Hosford dan R. M. Caddell, *Metal Forming, Mechanics and Metallurgy*, New York: Cambridge University Press, 2011.
- [12] Q. Zhang, “Hydraulic Linear Actuator Velocity Control Using A Feedforward-Plus-Pid Control,” University of Illinois at Urbana-Champaign,, Urbana.
- [13] I. C. Turner, *Engineering Applications of Pneumatics & Hydraulics*, London: Arnold, 1997.
- [14] M. G. Rabie, *Fluid Power Engineering*, United States: The McGraw-Hill, 2009.
- [15] F. Sayed dan N. Patel, “Cornell University - Building Control Model,” Spring 2012. [Online]. Available: https://people.ece.cornell.edu/land/courses/ece4760/FinalProjects/s2012/fas57_nyp7/Site/indexleftmenu.html.
- [16] N. S. Nise, *Control System Engineering*, 7th ed., United States of America: Wiley, 2015.
- [17] E. J. Routh, *Dynamics of a System of Rigid Bodies*, 6th ed., London: Macmillan, 1905.
- [18] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, USA penyunt., Pearson, 2010.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya pada tanggal 02 April 1995. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Suko II Sidoarjo (2001-2007), SMP Negeri 2 Sidoarjo (2007-2010), SMAN 2 Sidoarjo (2010-2013) dan D3 Teknik Mesin Kerjasama Disnakertransduk Fakultas Teknologi Industri, ITS Surabaya (2013-2016). Pada tahun 2016 penulis mengikuti ujian masuk Program Lintas Jalur ITS dan diterima sebagai mahasiswa di Program Studi S1 Teknik Mesin Lintas Jalur, dengan NRP 02111645000050.

Selama duduk di bangku kuliah D3-S1 penulis aktif mengikuti kegiatan perkuliahan dan melaksanakan kerja praktek di PT Pertamina EP 4 Field Cepu pada bulan Juni-Juli 2015 serta di Badan Tenaga Nuklir Nasional pada bulan Juli-Agustus 2017. Penulis pernah menjalani beberapa Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) diantaranya PKM-K, PKM-M dan PKM-T. Penulis memiliki kegiatan sampingan sebagai guru les privat. Pada masa D3 penulis juga bergabung dalam organisasi antara lain sebagai staff BSO IECC BEM ITS Kolaborasi periode kepengurusan 2014/2015. Selain itu penulis juga bergabung sebagai Staf Human Resource Development dan Manager Public Relation dalam UKM TDC ITS periode tahun 2014/2015 dan 2015/2016.