

**PERANCANGAN SISTEM PENGUMPAN PADA SIMULASI
MESIN CNC PEMBUAT BEGEL**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun Oleh :

Nama : Gyan Cassandra Suwito

No. Mahasiswa : 12525067

NIRM : 2012040512

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2018

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PERANCANGAN SISTEM PENEKUK PADA SIMULASI
MESIN CNC PEMBUAT BEGEL**

TUGAS AKHIR



Menyetujui,

Dosen Pembimbing Tugas Akhir,

Purtojo, S.T., M.Sc

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**PERANCANGAN SISTEM PENGUMPAN PADA SIMULASI
MESIN CNC PEMBUAT BEGEL**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Gyan Cassandra Suwito

No. Mahasiswa : 12525067

NIRM : 2012040512

Tim Penguji

Purtojo, S.T., M.Sc.

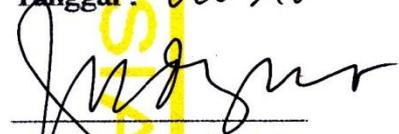
Ketua



Tanggal : 02/03/18

Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng.

Anggota I



Tanggal : 01/03/2018

Donny Suryawan, S.T., M.Eng.

Anggota II



Tanggal : 01/03/2018

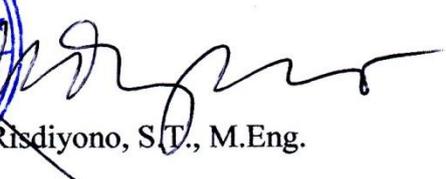
Menyetujui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Universitas Islam Indonesia



Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng.



PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

“ Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam laporan tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan orang lain untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam penulisan naskah ini dan disebutkan sebagai referensi. Apabila kemudian hari terbukti pernyataan ini tidak benar, saya sanggup menerima hukuman atau sanksi apapun sesuai hukum yang berlaku.”

Yogyakarta, 1 Februari 2018

Penulis,



Gyan Cassandra Suwito

HALAMAN PERSEMBAHAN

Saya persembahkan karya tulis ini untuk :

Kedua orang tua tercinta, Bapak Suwito Supar Partorejo dan Ibu Sri Winarni (alm) yang senantiasa memberikan doa, nasihat dan motivasi yang diberikan kepada penulis sehingga mampu menyelesaikan tugas akhir ini.

Kedua saudari tercinta saya Geby Rimayanti Suwito dan Ghirrid Salsabila Suwito yang tidak henti-hentinya juga memberikan semangat, dukungan dikala mengalami kesuliatan dan permasalahan lain.

Habiburohman selaku partner dalam mengerjakan tugas akhir.

Teman seperjuangan di Teknik Mesin UII dan tim mobil listrik UASC yang telah memberikan banyak warna dan pengalaman terbaik dimasa-masa perkuliahan.

Semoga amal dan perbuatan orang-orang yang membantu dan mendukung penulis dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini akan mendapatkan ganjaran yang setimpal dari Allah SWT.

HALAMAN MOTTO

“Seseorang yang optimis akan melihat adanya kesempatan dalam setiap malapetaka, sedangkan orang pesimis melihat malapetaka dalam setiap kesempatan.” (anonim)

“Sabar memiliki dua sisi, sisi satu adalah sabar, sisi satunya adalah bersyukur kepada Allah.” (Ibnu Mas’ud)

“Berusahalah untuk tidak menjadi manusia yang berhasil tetapi berusahalah menjadi manusia yang berguna.” (Albert Einstein)

“Aja rumangsa bisa, nanging bisa’a rumangsa.” (anonim)

KATA PENGANTAR



Assalamu'allaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah Robbilalamin, Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan nikmat, rahmat dan hidayah-Nya sehingga laporan tugas akhir dapat diselesaikan dengan baik. Sholawat serta salam semoga tetap tercurah kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat dan semua umatnya hingga saat ini.

Berkat petunjuk Allah SWT penyusun dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul “*Perancangan Sistem Pengumpan Pada Simulasi Mesin CNC Pembuat Begel*” sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Mesin.

Selama pelaksanaan tugas akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas segala limpahan nikmat, rahmat dan hidayah-Nya.
2. Bapak Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng. selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia, yang telah memberikan izin untuk melakukan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Purtojo, S.T., M.Sc selaku pembimbing tugas akhir, terima kasih atas ilmu, saran serta nasehat baik dalam proses bimbingan sehingga penulis dapat mengambil hikmah.
4. Seluruh Dosen Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang telah mengajarkan ilmunya .
5. Kedua orang tua dan saudari yang telah memberikan semangat, dukungan dan do'a demi kelancaran dalam proses tugas akhir.
6. Habiburohman selaku partner dalam mengerjakan tugas akhir ini.
7. Bapak Arif Fauzi, Gatot, Rahmat yang telah membantu membimbing pengoperasian modul PLC Beckhoff.

8. Muhammad Fanriado, Wahruddin Abdul Hamid yang mendukung tugas akhir ini.
9. Sahabat dan teman-teman Tim Mobil Listrik UASC yang selalu memberi semangat.
10. Segenap karyawan Jurusan dan Staff Laboratorium Teknik Mesin FTI UII.
11. Seluruh mahasiswa Teknik Mesin FTI UII dan sahabat-sahabat seperjuangan semoga kelak di kemudian hari dapat bertemu dan berkumpul kembali.
12. Semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak bisa disebutkan satu per-satu.

Semoga Allah SWT senantiasa memberikan balasan limpahan rahmat dan karunia-Nya, serta kelapangan hati atas segala kebaikan yang mereka berikan. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan dan kesalahannya, untuk itu diharapkan masukan saran dan kritik yang sekiranya dapat menambah pengetahuan serta lebih menyempurnakan laporan ini sehingga lebih bermanfaat lagi.

Wassallamu'allaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 1 Februari 2018

Penulis,

Gyan Cassandra Suwito

ABSTRAK

Mesin CNC begel merupakan mesin yang digunakan untuk produksi begel dengan berbasis pengendalian gerak motor DC servo sehingga dapat memproduksi begel dengan ukuran yang bervariasi dan waktu produksi yang relatif cepat. Mesin ini menggunakan teknologi PLC (Programmable Logic Control) Beckhoff yang dimana sistem ini dapat mengendalikan putaran Motor Servo DC untuk mekanisme pembentukkan cincin begelnya. Salah satu mekanisme yang dibutuhkan pada mesin ini adalah mekanisme pengumpanan (feeder) kawat. Sistem ini bekerja berdasarkan pengendalian pergerakan motor melalui derajat putarannya sehingga dapat beroperasi sesuai dengan kebutuhan. Pada hasil akhirnya, mekanisme mampu megumpan kawat begel diameter 1 mm, dengan pengumpanan sepanjang 96,6 mm dan 116,6 mm dengan hasil akhir setelah melalui proses penekukan adalah 100 mm dan 120 mm. Hasil tersebut diperoleh dari uji coba parameter jarak (distance) dan kecepatan (velocity) pada program PLC Beckhoff serta dari beberapa aspek yang dipengaruhi oleh perancangan desain mesin.

Kata kunci: Begel, Pengumpan (feeder), PLC Beckhoff, Motor DC servo.

ABSTRACT

Begel CNC machine is a machine used for producing begel with motor controller based motion DC servo so it can produce begel with varying sizes and production time is relatively fast. This machine uses Beckhoff's PLC (Programmable Logic Control) technology in which this system can control the rotation of Servo DC Motor for the mechanism of forming the begel ring. One of the mechanisms required in this machine is the feeder mechanism of the wire. This system works based on the control of motor movement through the degree of rotation so that it can operate as needed. At the end result, the mechanism capable of wiring 1 mm diameter wire, with a feed of 96.6 mm and 116.6 mm with the final result after the bending process is 100 mm and 120 mm. The results obtained from the test distance parameters (distance) and speed (velocity) on Beckhoff PLC program and from some aspects that are influenced by the design of the machine design.

Keywords: Begel, Feeder, Beckhoff PLC, Servo DC Motor.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING.....	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN MOTTO	vi
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR NOTASI	xivi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan	2
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Kajian Pustaka.....	4
2.2 Dasar Teori.....	4
2.2.1 Begel	4
2.2.2 CAD (<i>Computer Aided Design</i>).....	5
2.2.3 Solidwork.....	5
2.2.4 <i>Progammable Logic Control</i> (PLC) Beckhoff	6
2.2.5 Perangkat Lunak TwinCat	7
2.2.6 Komponen Dasar PLC	8
2.2.7 Motor Servo	12
2.2.8 <i>Roller</i> Pengumpan.....	14

2.2.9	Perhitungan Gaya Pelurusan dan Torsi kerja.....	15
BAB 3 METODE PENELITIAN		17
3.1	Alur Penelitian	18
3.2	Observasi.....	19
3.3	Konsep Desain dan Perancangan Alat	19
3.3.1	Perancangan Alat	19
3.3.2	Konsep Desain	20
3.3.3	Sistem Elektronik.....	25
3.3.4	Perhitungan Torsi Yang Dibutuhkan Untuk Mekanisme Pelurus.....	30
3.3.5	Perhitungan Nilai <i>Input</i> Motor Pada Program	32
3.4	Peralatan dan Bahan.....	35
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		36
4.1	Hasil Perancangan Mesin CNC Pembuat Cincin Begel.....	37
4.4.1	Hasil Perancangan Sistem Pengumpan	40
4.4.2	Pembuatan Sistem Pengumpan	41
4.2	Kontrol Sistem pada Perangkat Lunak TwinCat.....	44
4.2.1	Kontrol Sistem Pada Twincat System Manager	44
4.2.2	Kontrol sistem pada TwinCat PLC Control.....	48
4.3	Langkah-Langkah Proses	52
4.4	Monitoring pada Proses Pengumpan.....	53
4.5	Hasil Pengujian	54
4.5.1	Pengujian Pengumpanan	54
4.5.2	Pengujian Kecepatan Kerja Alat.....	57
4.6	Kendala dan Solusi.....	58
4.6.1	Kendala	58
4.6.2	Solusi.....	58
BAB 5 PENUTUP.....		60
5.1	Kesimpulan	60
5.2	Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA.....		61
LAMPIRAN		62

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Koefisien Kekuatan (K) dan Eksponen Pengeran Regangan (n).....	30
Tabel 3. 2 Karakteristik Nilai Temperatur, Rentang Nilai Eksponen Renggangan dan Koefisien Gesek untuk Pengerjan Dingin, Hangat dan Panas	30
Tabel 3. 3 Hubungan Translasi Rotasi.....	33
Tabel 3. 4 Alat	35
Tabel 3. 5 Bahan.....	35
Tabel 4. 1 Instruksi Tombol	50
Tabel 4. 2 Pengujian Pengumpanan dengan Penekukan Sudut 90°	55
Tabel 4. 3 Pengujian Pengumpanan dengan Penekukan Sudut 96°	55
Tabel 4. 4 Pengujian Pengumpanan dengan Penekukan Sudut 90°	56
Tabel 4. 5 Pengujian Pengumpanan dengan Penekukan Sudut 96°	56
Tabel 4. 6 Perubahan Velocity Terhadap Waktu.....	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Begel.....	5
Gambar 2. 2 Software Solidwork	6
Gambar 2.3 PLC	7
Gambar 2.4 Twincat	8
Gambar 2.5 Komponen PLC	9
Gambar 2.6 Ledder Diagram	11
Gambar 2.7 Function Block Diagram pada Twincat.....	11
Gambar 2.8 Motor DC Servo	12
Gambar 2.9 Hubungan antara Lear Pulsa dengan Posisi Poros Motor Servo	13
Gambar 2.10 Mesin Pengupuan dan Pelurus Kawat	14
Gambar 2.11 Roller Straigtening.....	17
Gambar 3. 1 Alur Penelitian	18
Gambar 3. 2 Desain Mesin Pembuat Begel Otomatis	21
Gambar 3. 3 Gambar Rangka Mesin	21
Gambar 3. 4 Progammbble Logic Control	22
Gambar 3. 5 Motor DC Servo	22
Gambar 3. 6 Flexible Coupling	23
Gambar 3. 7 Pillow Block Bearing.....	23
Gambar 3. 8 Roller Bearing.....	23
Gambar 3. 9 Pulley Pengumpan	24
Gambar 3. 10 Lengan Penekuk.....	24
Gambar 3. 11 Embeded System CX5010.....	25
Gambar 3. 12 Digital Input EL1008.....	26
Gambar 3. 13 Digital Output	26
Gambar 3. 14 Terminal Servo Motor EL7211-0010	27
Gambar 3. 15 Motor Cable ZK4704-0421-2zzz.....	28
Gambar 3. 16 Motor Servo am8122	28
Gambar 3. 17 Power Supply.....	29
Gambar 3. 18 Rangkain Sitem Elektronik.....	29

Gambar 4. 1 Desain Mesin CNC Pembuat Cincin Begel	37
Gambar 4. 2 Empat Mekanisme pada Mesin CNC Begel	38
Gambar 4. 3 Komponen-komponen	39
Gambar 4. 4 Desain Sistem Pelurus & Pengumpan Tampak Isometric	40
Gambar 4. 5 Mekanisme Pengumpan dan <i>Adjustment Roller</i>	40
Gambar 4. 6 Desain Sitem Pelurus & Pengumpan Tampak Belakang.....	41
Gambar 4. 7 Desain Pelurus & Pengumpan Tampak Atas.....	41
Gambar 4. 8 <i>Roller Pelurus</i>	42
Gambar 4. 9 Dudukan Motor.....	42
Gambar 4. 10 Pulley Pengumpan Kawat.....	42
Gambar 4. 11 <i>Adjustment Pulley</i> Pengumpan	43
Gambar 4. 12 <i>Adjustment Roller Pelurus</i>	43
Gambar 4. 13 <i>Cover Plat</i>	44
Gambar 4. 14 Hasil Perancangan Proses Pengumpan pada Mesin CNC pembuat Begel.....	44
Gambar 4. 15 System Manager Twincat	45
Gambar 4. 16 NC-Configuration	45
Gambar 4. 17 PLC-Configuration	46
Gambar 4. 18 I/O-Configuration	46
Gambar 4. 19 Parameter Kecepatan Maksimum Motor	47
Gambar 4. 20 Scaling Factor	47
Gambar 4. 21 Kv-Factor	48
Gambar 4. 22 Diagram Alir Program Mesin CNC Pembengkok Kawat.....	49
Gambar 4. 23 Instruksi Tombol pada Program PLC	50
Gambar 4. 24 Block MC_Power	51
Gambar 4. 25 Instruksi Pengumpan	52
Gambar 4. 26 Mekanisme Kerja Mesin.....	53
Gambar 4. 27 Monitoring pada Proses Pengumpan	53
Gambar 4. 28 Parameter Input Distance pada Program	54
Gambar 4. 29 Parameter Input Velocity pada Program.....	57

DAFTAR NOTASI

<u>Notasi</u>	<u>Nama</u>	<u>Satuan</u>
ϵ	Regangan	
A_0	Luas penampang awal	mm ²
A_f	Luas penampang akhir	mm ²
D_0	Diameter awal	mm
D_f	Diameter akhir	mm
Y_f	Tegangan aliran rata-rata	MPa
K	Konstanta ekstrusi	MPa
n	Eksponen pengerasan	
φ	Faktor ketidak homogenan	
D	Diameter rata-rata kawat	mm
L_c	Panjang kawasan kontak	mm
α	Sudut tirus landasn roller	°
μ	Koefisien gesek	
T	Torsi	N/m
r	Panjang lengan gaya	m

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beberapa dasawarsa belakangan ini, proyek infrastruktur di Indonesia meningkat pesat. Proyek tersebut antara lain jalan tol, jalur kereta, gedung, perumahan, dan infrastruktur lainnya sebagai penunjang kesejahteraan masyarakat. Oleh karenanya kebutuhan akan bahan-bahan yang digunakan konstruksi bangunan akan meningkat juga. Salah satunya adalah kebutuhan besi begel yang berfungsi sebagai rangka penguat untuk menahan gaya geser dari balok cor atau kolom beton bertulang sehingga konstruksi semakin kokoh.

Secara keseluruhan setelah diamati dan survei, bahwa alat yang digunakan para pekerja bangunan untuk membuat cincin begel khususnya di Indonesia masih menggunakan cara konvensional. Pembuatan cincin begel secara konvensional yaitu masih manual dengan tenaga manusia, seperti menggunakan kunci begel, balok kayu dan paku yang disusun berdasarkan ukuran diameter dan panjang begel yang akan ditekuk. Alat ini biasanya dirancang oleh para pekerja bangunan di Indonesia untuk membuat cincin begel. Oleh karenanya dibutuhkan alternatif baru untuk proses pembuatan begel.

Mesin CNC pembuat begel adalah seperangkat mesin perkakas yang dioperasikan oleh perintah berupa program yang tersimpan dalam media penyimpanan, beroperasi untuk membentuk kawat menjadi sebuah cincin begel. Sehingga akan memudahkan proses pembuatan begel yang selama ini dibuat hanya mengandalkan tenaga manusia. Dengan mesin CNC pembentuk begel yang berteknologi PLC sebagai perangkat kendali maka pekerjaan membuat begel kini akan lebih cepat serta mampu membuat begel dengan ukuran yang berbeda-beda.

Kebutuhan akan teknologi otomasi produksi jelas terlihat pada bidang industri berskala kecil maupun besar. Pada umumnya suatu industri akan berusaha untuk menghasilkan produk-produk yang seragam dan cepat sehingga mampu memenuhi kebutuhan konsumen. Oleh karena itu dilakukan penelitian

Tugas Akhir sebagai bagian dari ilmu amaliah dengan judul “Perancangan Sistem Pengumpan pada Simulasi Mesin CNC Pembuat Begel”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas maka rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana membuat mekanisme pengumpan otomatis yang dapat mengumpan dengan ukuran yang berbeda-beda ?
2. Bagaimana cara mengatur kecepatan produksi ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang dibuat oleh peneliti karena keterbatasan kemampuan peneliti yaitu :

1. Penelitian ini hanya difokuskan pada proses pengumpan saja.
2. Perangkat keras yang digunakan adalah PLC *Beckhoff* dan motor DC servo.
3. Perangkat lunak yang digunakan adalah *Twincat*.
4. Parameter-parameter yang dimasukkan mengikuti parameter yang terdapat pada perangkat lunak *Twincat*.
5. Perhitungan mekanik hanya difokuskan pada bagian pengumpan saja.
6. Alat yang dirancang dalam skala edukasi.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Berdasarkan perumusan masalah yang telah dikemukakan, maka dapat ditentukan tujuan penelitian atau perancangan sebagai berikut :

1. Merancang sistem pengumpan pada simulasi mesin CNC pembuat begel.
2. Mesin CNC pembentuk begel dapat memproduksi begel berbentuk segiempat dengan ukuran dan kecepatan produksi yang berbeda – beda.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari perancangan CNC pembuat begel ini adalah :

1. Dapat mengefisienkan biaya, waktu dan tenaga dalam proses pembuatan begel jika diperlukan jumlah yang banyak.
2. Tersedianya alat yang lebih praktis yang dapat membuat cincin begel dengan ukuran yang berbeda-beda.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini diuraikan bab demi bab yang berurutan untuk mempermudah pembahasannya. Pokok-pokok permasalahan dalam penulisan ini dibagi menjadi lima bab :

1. Bab I Pendahuluan, berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, serta sistematika penulisan laporannya.
2. Bab II Tinjauan Pustaka, berisikan tentang kajian pustaka dan dasar teori.
3. Bab III Metode Penelitian, berisikan tentang alur penelitian, perancangan, serta peralatan dan bahan.
4. Bab IV Hasil dan Pembahasan, berisikan tentang pembahasan mengenai hasil pengujian serta perhitungan mekanik untuk proses pembuatan begel.
5. Bab V Penutup, yang berisi tentang kesimpulan dan saran.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Pengumpan atau *feeder* umumnya dilakukan dengan menggunakan sebuah *roller* beralur yang juga berfungsi sebagai penjepit kawat. Mekanismenya pergerakan kawat tersebut melalui kekuatan dorong yang dihasilkan oleh putaran motor yang dapat mencekam material sehingga kawat dapat dengan baik ditarik atau didorong melalui putaran (Patel, 2011).

Feeder merupakan istilah yang dipakai untuk suatu alat atau mekanisme yang berfungsi untuk membawa, mengantarkan, dan mempersiapkan benda kerja ke proses yang selanjutnya, ada beberapa jenis/macam *feeder* yang umum di pakai antara lain seperti: *vibrator feeder*, *rotary feeder*, *konveyor feeder*, *pneumatik/hidrolik feeder* *Ulir/spiral feeder*, *roll feeder* dan lainnya (Surya, 2014).

Pada industri untuk meningkatkan kualitas dan produktifitas dari produk yang dihasilkan maka, diperlukan pengaturan proses kerja mesin-mesin industri meliputi pengontrolan mesin-mesin industri dan pengawasan atas kinerja mesin tersebut. Pada umumnya proses pengontrolan suatu sistem dibangun oleh sekelompok alat elektronik yang dimaksudkan untuk meningkatkan stabilitas, akurasi, dan mencegah terjadi transisi selama proses produksi (Husanto & Thomas, 2005).

Sistem otomasi industri dapat diartikan sebagai sistem dengan mekanisme kerja dikendalikan oleh peralatan elektronik berdasarkan urutan-urutan perintah dalam bentuk program perangkat lunak yang disimpan di dalam unit memori kontroler elektronik (Putranto dkk, 2008).

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Begel

Begel adalah suatu komponen berbentuk kotak yang terbuat dari kawat besi. Kegunaan dari besi begel adalah sebagai rangka kolom beton untuk menahangaya geser dari sebuah konstruksi. Kegunaan lainnya adalah untuk menahan cor pada pondasi dan tulangan pada dinding rumah sehingga rumah semakin kokoh.

Pada umumnya begel dibentuk dengan ukuran/dimensi yang berbeda beda, berikut adalah ukuran/dimensi begel yang umum di pasaran dan sering digunakan dalam konstruksi bangun antara lain : 8cm x 8cm, 10cm x 10cm, 12cm x 12cm, 15cm x 15cm, 8cm x 15cm (Ardiansyah, 2010). Lebih jelasnya begel dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Begel

Sumber : (Google, 2017)

2.2.2 CAD (*Computer Aided Design*)

CAD adalah suatu program komputer yang berfungsi untuk membantu dalam penciptaan, merencanakan, analisis, dan optimasi desain. Setiap program komputer yang mengaktifkan komputer grafis dan program aplikasi memfasilitasi fungsi rekayasa dalam proses desain dapat diklasifikasikan sebagai perangkat lunak CAD. Peran paling dasar dari CAD adalah untuk mendefinisikan geometri desain bagian mekanik, perakitan produk, struktur arsitektur, sirkuit elektronik, tata letak bangunan, dan lain-lain.

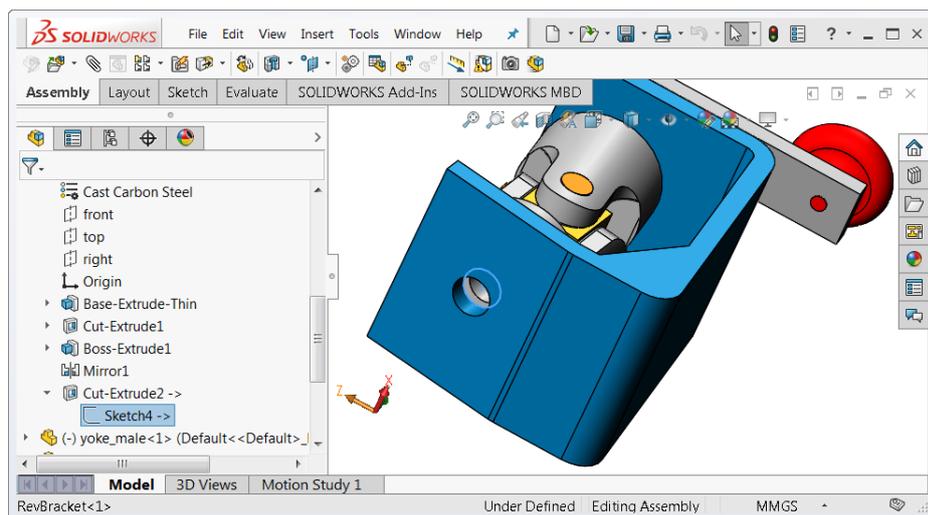
Berbagai macam perangkat lunak CAD yang sering digunakan adalah *Solidworks*, *Autocad*, *Inventor*, *Power Shape*, *Catia* dan lain-lain. Perangkat lunak tersebut digunakan dalam dunia manufaktur (Anton, 2012).

2.2.3 *Solidwork*

Solidworks adalah salah satu program *Computer Aided Design* (CAD) yang digunakan untuk proses desain alat atau produk. Perangkat lunak ini dapat

melakukan simulasi analisis kekuatan desain juga dapat dilakukan secara sederhana diantaranya untuk mengetahui kekuatan produk seperti *force*, *torque*, *temperature*, *safety factor* dan yang paling penting, Anda dapat membuat desain animasi menggunakan fitur yang telah disediakan *Solidworks*. Perangkat lunak ini dikembangkan oleh *Solidworks Corporation* yang sekarang sudah diakuisisi oleh *Dassault Systems*.

Sebagai perangkat lunak CAD, *Solidworks* dipercaya sebagai perangkat lunak untuk membantu proses mendesain suatu benda atau alat dengan mudah. Di Indonesia terdapat banyak perusahaan manufaktur yang mengimplementasikan perangkat lunak *Solidworks*. Keunggulan *Solidworks* adalah tampilan/*Graphic User Interface* yang bersahabat sehingga mudah untuk dioperasikan, mampu menyediakan sketsa 2D yang dapat di-*upgrade* menjadi bentuk 3D. Selain itu pemakaiannya mudah karena memang dirancang khusus untuk mendesain benda sederhana maupun yang rumit sekali pun. Inilah yang membuat *Solidworks* menjadi populer dan menggeser ketenaran perangkat lunak CAD lainnya. Tampilan perangkat lunak *Solidworks* dapat dilihat Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 *Software Solidwork*

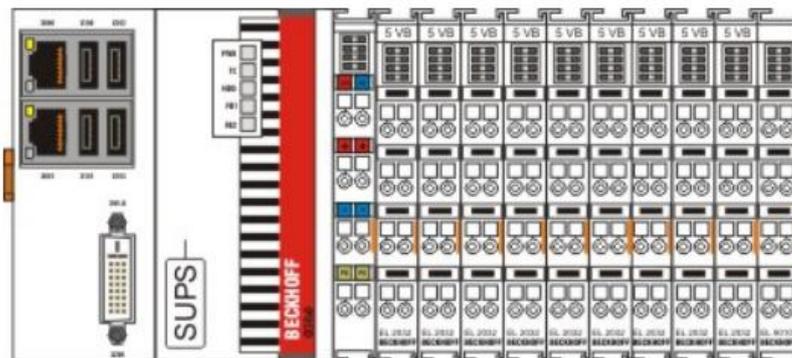
Sumber : (Solidworks, 2017)

2.2.4 *Progammable Logic Control (PLC) Beckhoff*

PLC Beckhoff merupakan perangkat yang menerapkan sistem otomasi terbuka berdasarkan teknologi *PC Control* yang meliputi komponen I/O dan

fieldbus, teknologi *drive* dan perangkat lunak otomasi. Produk yang dapat digunakan sebagai komponen terpisah atau diintegrasikan ke dalam sistem kontrol yang lengkap dan mulus yang tersedia untuk semua industri. Filosofi “New Automation Technology” *Beckhoff* mewakili solusi kontrol dan otomasi universal dan terbuka yang digunakan di seluruh dunia dalam berbagai macam aplikasi yang berbeda, mulai dari alat mesin yang dikendalikan CNC sampai otomatisasi bangunan cerdas.

Teknologi kontrol berbasis PC ini menawarkan skalabilitas dan fleksibilitas yang sangat baik. Roland Van Mark, marketing PC industri di *Beckhoff*, menjelaskan karakteristik dan keunggulan penting PC industri *Beckhoff* terkait dengan keunggulan sistem perangkat lunak *TwinCAT Beckhoff*. Sistem perangkat lunak *TwinCAT* mengubah hampir semua PC yang kompatibel menjadi pengendali *real-time* dengan sistem multi-PLC, kontrol sumbu NC, pemrograman dan stasiun operasi. *TwinCAT* menggantikan pengendali PLC dan NC/CNC konvensional serta perangkat pemrograman dan sistem *run-time* secara opsional bersama pada satu PC. (Beckhoff, New Automation Technology, 2015) Modul PLC *Beckhoff* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



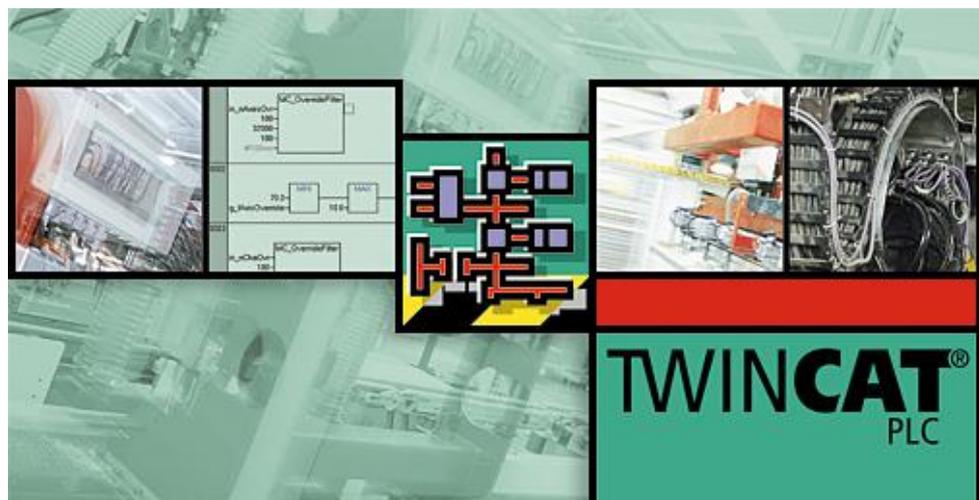
Gambar 2.3 PLC

Sumber : (Beckhoff, 2017)

2.2.5 Perangkat Lunak *TwinCAT*

Sistem perangkat lunak *TwinCAT Beckhoff* mengubah hampir semua PC yang kompatibel menjadi pengendali *real-time* dengan sistem multi-PLC, kontrol sumbu NC, lingkungan pemrograman dan stasiun operasi. perangkat lunak *TwinCAT* dapat dilihat pada Gambar 2.4. Perangkat lunak *TwinCAT* menggantikan pengendali PLC dan NC/CNC konvensional serta perangkat operasi dengan :

- Terbuka, cocok untuk personal komputer.
- Embeded IEC 61131-3 *software* PLC, *software* NC dan *software* CNC di Windows NT/ 2000 / XP / Vista, Windows 7, NT / XP Embedded, CE.
- Program dan sistem berjalan secara opsional dalam satu personal komputer atau dipisahkan.
- Dapat dihubungkan ke semua konektor *fieldbuses*.
- Dilengkapi dengan *interface* program.
- Komunikasi data dengan pengguna dan program lainnya dengan menggunakan standar Microsoft (OPC, OCX, DLL, dll). (BECKHOFF, 2017)

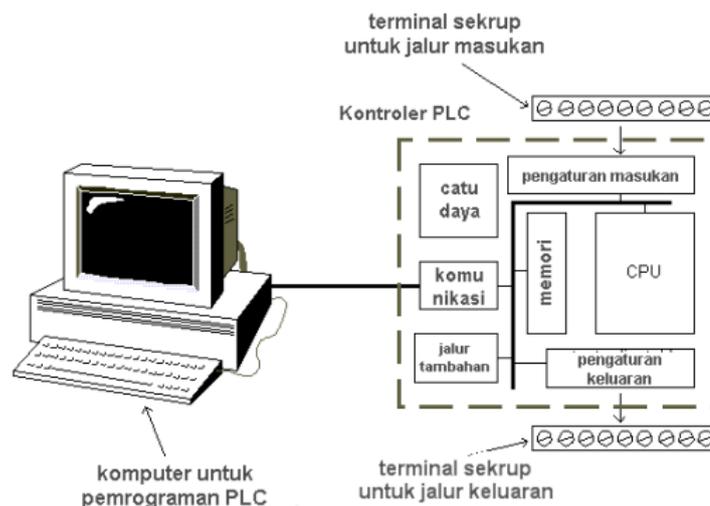


Gambar 2.4 *Twincat*

Sumber : (Beckhoff, 2017)

2.2.6 Komponen Dasar PLC

PLC tersusun atas beberapa komponen dasar yang dapat dilihat pada Gambar 2. 5.



Gambar 2.5 Komponen PLC

Sumber: (Husanto & Thomas, 2012)

Beberapa komponen-komponen PLC yaitu :

- CPU (Central Processing Unit)**, yaitu otak dari PLC yang mengerjakan berbagai operasi, antara lain mengeksekusi program, menyimpan dan mengambil data dari memori, membaca kondisi/nilai input serta mengatur nilai *output*, memeriksa adanya kerusakan (*self - diagnosis*), serta melakukan komunikasi dengan perangkat lain.
- Input**, merupakan bagian PLC yang berhubungan dengan perangkat luar yang memberikan masukan kepada CPU. Perangkat luar *input* dapat berupa tombol, *switch*, sensor atau piranti lain.
- Output**, merupakan bagian PLC yang berhubungan dengan perangkat luar yang memberikan keluaran dari CPU. Perangkat luar *output* dapat berupa lampu, katub (*valve*), motor dan perangkat – perangkat lain.
- Memory**, yaitu tempat untuk menyimpan program dan data yang akan dijalankan dan diolah oleh CPU. Dalam pembahasan PLC, memori sering disebut sebagai *file*. Dalam PLC memori terdiri atas *memory* program untuk menyimpan program yang akan dieksekusi, *memory* data untuk menyimpan nilai-nilai hasil operasi CPU, nilai *timer* dan *counter*, serta memori yang menyimpan nilai kondisi *input* dan *output*. Kebanyakan PLC sekarang memiliki satuan memori dalam *word* (16 bit).

- e. **Communication Device**, yang membantu CPU dalam melakukan pertukaran data dengan perangkat lain, termasuk juga berkomunikasi dengan komputer untuk melakukan pemrograman dan pemantauan.
- f. **Power Supply**, untuk memberikan sumber tegangan kepada semua komponen dalam PLC. Biasanya sumber tegangan PLC adalah 220 V AC atau 24 V DC.

Pada dasarnya sinyal yang diterima/dibangkitkan oleh unit *input/output* PLC berupa sinyal digital, yang bernilai biner 0 atau 1. Perangkat *input/output* yang memiliki sinyal analog memerlukan piranti *ADC (Analog to Digital Converter)* atau *DAC (Digital to Analog Converter)* agar dapat dihubungkan ke PLC. Biasanya piranti ini terdapat dalam modul analog yang diproduksi pabrik pembuat PLC. Sinyal analog yang biasanya digunakan dalam PLC mengikuti standar industri, yaitu arus 4 – 20 mA untuk tegangan *input* digital bermacam-macam mulai dari 5 V DC, 12 V DC atau 24 V DC, sedangkan terminal *output* dapat berupa relay atau transistor .

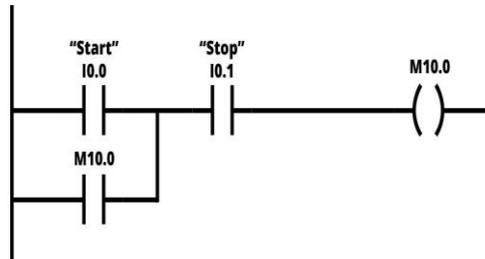
2.2.7 Bahasa Pemograman

Terdapat banyak pilihan bahasa untuk membuat program dalam PLC. Masing-masing bahasa mempunyai keuntungan dan kerugian sendiri-sendiri tergantung dari sudut pandang kita sebagai *user*.

a. **Ladder Diagram (LD)**

Ladder diagram menggambarkan program dalam bentuk grafik. Diagram ini dikembangkan dari kontak-kontak *relay* yang terstruktur yang menggambarkan aliran arus listrik. Dalam *ladder diagram* ini terdapat dua buah garis vertikal. Garis vertikal sebelah kiri dihubungkan dengan sumber tegangan positif/rel catu daya aktif sedangkan garis sebelah kanan dengan sumber tegangan negatif/rel catu daya pasif. Diantara dua garis ini dipasang kontak-kontak yang menggambarkan kontrol dari *switch*, sensor atau *output*. Satu baris dari diagram disebut dengan satu rung. *Input* menggunakan *symbol* “| |” (kontak, *normal open*) dan “|/|” (negasi kontak, *normal closed*). *Output* mempunyai simbol “()” yang terletak paling kanan menempel garis vertikal kanan.

Selama pemrograman setiap simbol yang diberikan adalah alamat PLC sesungguhnya atau merupakan alamat simbolik (misal I0.0 “Start”, I0.1 “Stop”, M10.0). *Ladder Diagram* dapat dilihat pada Gambar 2.6.

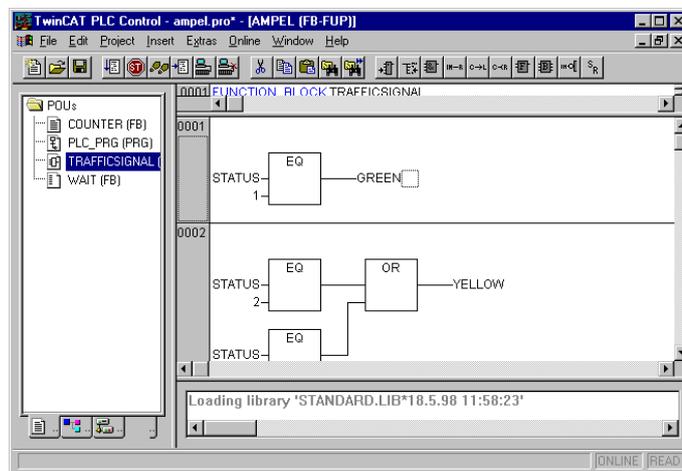


Gambar 2.6 Ladder Diagram

Sumber : (Plcacademy, 2017)

b. *Function Block Diagram (FBD)*

Function Block Diagram adalah suatu fungsi-fungsi logika yang disederhanakan dalam gambar blok grafis dan dapat dihubungkan dalam suatu fungsi atau digabungkan dengan fungsi blok lain. FBD adalah bahasa grafis yang memungkinkan pemrograman dikombinasikan dengan bahasa lain *ladder diagram* (LD), *instruction list* (IL) atau *structure text* (ST) yang akan berada di dalam FBD/ dalam program FBD muncul sebagai blok elemen yang “dihubungkan” bersama-sama dengan cara yang menyerupai diagram rangkaian. FBD yang paling berguna dalam aplikasi yang melibatkan kerumitan perintah tinggi/ data flow antara komponen kontrol, seperti kontrol proses. *Fuction block diagram* dapat dilihat dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Function Block Diagram pada Twincat

Sumber : (Beckhoff, 2017)

2.2.8 Motor Servo

Motor servo adalah sebuah perangkat atau aktuator putar (motor) yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik *loop* tertutup (servo), sehingga dapat di *set-up* atau di atur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros *output* motor. Penggunaan sistem kontrol *loop* tertutup pada motor servo berguna untuk mengontrol gerakan dan posisi akhir dari poros motor servo. Penjelasan sederhananya begini, posisi poros *output* akan di sensor untuk mengetahui posisi poros sudah tepat seperti yang di inginkan atau belum, dan jika belum, maka kontrol *input* akan mengirim sinyal kendali untuk membuat posisi poros tersebut tepat pada posisi yang diinginkan. Motor DC servo biasa digunakan dalam aplikasi-aplikasi di industri, selain itu juga digunakan dalam berbagai aplikasi lain seperti pada mobil mainan radio kontrol, robot, pesawat, dan lain sebagainya. Motor DC servo *Beckhoff* dapat dilihat pada gambar 2.8.



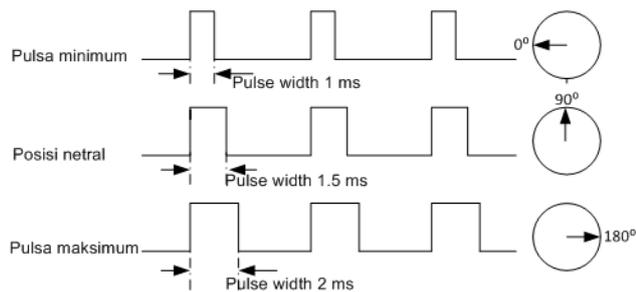
Gambar 2.8 Motor DC Servo

Sumber : (Beckhoff, 2017)

Ada dua jenis motor servo, yaitu motor servo AC dan DC. Motor servo AC lebih dapat menangani arus yang tinggi atau beban berat, sehingga sering diaplikasikan pada mesin-mesin industri. Sedangkan motor servo DC biasanya lebih cocok untuk digunakan pada aplikasi-aplikasi yang lebih kecil dan bila dibedakan menurut rotasinya, umumnya terdapat dua jenis motor servo yang terdapat di pasaran, yaitu :

- Motor servo *standard* (servo rotation 180°) adalah jenis yang paling umum dari motor servo, dimana putaran poros *output* terbatas hanya 90° kearah kanan dan 90° kearah kiri. Dengan kata lain total putarannya hanya setengah lingkaran atau 180° .
- Motor servo *rotation continuous* merupakan jenis motor servo yang sebenarnya sama dengan jenis servo *standard*, hanya saja perputaran porosnya tanpa batasan atau dengan kata lain dapat berputar terus, baik ke arah kanan maupun kiri.

Prinsip kerja motor servo dikendalikan dengan memberikan sinyal modulasi lebar pulsa (*Pulse Wide Modulation / PWM*) melalui kabel kontrol. Lebar pulsa sinyal kontrol yang diberikan akan menentukan posisi sudut putaran dari poros motor servo. Sebagai contoh, lebar pulsa dengan waktu 1,5 ms (mili detik) akan memutar poros motor servo ke posisi sudut 90° . Bila pulsa lebih pendek dari 1,5 ms maka akan berputar ke arah posisi 0° atau ke kiri (berlawanan dengan arah jarum jam), sedangkan bila pulsa yang diberikan lebih lama dari 1,5 ms maka poros motor servo akan berputar ke arah posisi 180° atau ke kanan (searah jarum jam). Untuk melihat hubungan antara lebar pulsa dengan posisi poros motor servo perhatikan Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Hubungan antara Lebar Pulsa dengan Posisi Poros Motor Servo

Sumber : (Trikueni, 2017)

Ketika lebar pulsa kendali telah diberikan, maka poros motor servo akan bergerak atau berputar ke posisi yang telah diperintahkan, dan berhenti pada posisi tersebut dan akan tetap bertahan pada posisi tersebut. Jika ada kekuatan eksternal yang mencoba memutar atau mengubah posisi tersebut, maka motor servo akan mencoba menahan atau melawan dengan besarnya kekuatan torsi yang

dimilikinya (rating torsi servo). Namun motor servo tidak akan mempertahankan posisinya untuk selamanya, sinyal lebar pulsa kendali harus diulang setiap 20 ms (mili/detik) untuk menginstruksikan agar posisi poros motor servo tetap bertahan pada posisinya (Darmanto, 2014).

2.2.9 *Roller* Pengumpan

Roller mempunyai fungsi untuk membawa, mengantarkan, dan mempersiapkan benda kerja ke proses yang selanjutnya, dalam hal ini *roller* digunakan sebagai pelurus kawat dan pengumpan kawat. Bahan kawat yang dihasilkan dari proses manufaktur umumnya dalam bentuk gulungan yang sangat sulit untuk dibentuk. Sehingga perlu dilakukan pelurusan terlebih dahulu sebelum kawat tersebut diproses untuk pembentukan selanjutnya.

Dalam pelurusan kawat yang menjadi kunci agar dapat dihasilkan hasil yang sempurna maka perlu diatur agar kedudukan *roller* baik itu secara vertikal maupun horizontal berada dalam posisi satu arah tengah (*center*) dan diameter radius *roller* ditentukan oleh diameter kawat. *Roller* juga diaplikasikan pada proses pengumpan kawat biasanya dilakukan oleh sebuah *roll* beralur yang dapat diketatkan tujuannya agar kawat tidak selip. Mekanismenya adalah kekuatan dorong yang dihasilkan putaran dapat menarik dan mencekam material sehingga kawat dapat dengan baik ditarik dan didorong melalui putaran. Proses pelurusan kawat dan pengumpan kawat dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Mesin Pengupuan dan Pelurus Kawat

Sumber : (Alibaba, 2017)

2.2.10 Perhitungan Gaya Pelurusan dan Torsi Kerja

Langkah-langkah dalam menghitung gaya untuk pelurusan kawat ini sama dengan perhitungan untuk ekstrusi (Weber, Siahaan, & Sobron YL, 2014). Penarikan merupakan proses dalam kondisi tunak, jadi pengaruh gesekan pada landasan bentuk dan ketidak homogenan deformasi perlu dipertimbangkan. Berikut adalah perhitungan gaya dan torsi dalam proses pelurusan kawat :

Dalam mekanisme pelurusan kawat regangan dapat dicari dengan rumus berikut

$$\epsilon = \ln \frac{A_0}{A_f} \quad (2.1)$$

Dimana, ϵ menunjukkan regangan (tanpa satuan); A_0 adalah luas bidang kerja awal satuannya adalah mm^2 ; A_f adalah Luas bidang kerja akhir satuannya adalah mm^2 .

Tegangan aliran rata-rata ini (Y_f) satuannya adalah MPa ditentukan dengan:

$$Y_f = \frac{K \cdot \epsilon^n}{1+n} \quad (2.2)$$

Dimana, K = konstanta kekuatan satuannya adalah MPa ; n = eksponen pengerasan logam (tidak ada satuan) dan ϵ = regangan diperoleh dari persamaan (2.1). Karena gesekan ada pada proses pelurusan dan logam kerja mengalami deformasi tidak homogen, tegangan sebenarnya lebih besar dari yang diberikan. Selain rasio

$\frac{A_0}{A_f}$, variabel lain yang mempengaruhi tegangan pelurusan adalah sudut tirus dari landasan-bentuk untuk penarikan dan yaitu koefisien gesek antara bidang kerja dengan landasan-bentuk. Sejumlah metode telah diusulkan untuk memprediksi tegangan tarik berdasarkan nilai parameter ini. Kami menyajikan persamaan yang disarankan oleh (Schey, 2002):

$$\sigma_d = Y_f \cdot \left(1 + \frac{\mu}{\tan \alpha}\right) \cdot \varphi \cdot \ln \frac{A_0}{A_f} \quad (2.3)$$

Dimana, σ_d = Tegangan penarikan dengan satuan MPa; Y_f = tegangan aliran rata-rata yang diperoleh dari persamaan (2.2); μ = koefisien gesek antara bidang kerja

dengan landasan-bentuk; α = sudut tirus dari landasan-bentuk untuk penarikan; dan φ = adalah faktor ketidak homogenan deformasi yang ditentukan sebagai berikut :

$$\varphi = 0,88 + 0,12 \frac{D}{L_c} (\geq 1) \quad (2.4)$$

Dimana, D = diameter rata-rata kawat satuannya adalah mm dan L_c = panjang kawasan kontak satuannya adalah mm. Nilai D dan Lc dapat ditentukan dari berikut ini :

$$D = \frac{D_0 + D_f}{2} \quad (2.5)$$

$$L_c = \frac{D_0 + D_f}{2 \sin \alpha} \quad (2.6)$$

Dimana, D_0 = diameter awal kawat satuannya adalah mm ; D_f = diameter akhir kawat satuannya adalah mm dan α = sudut tirus dari landasan-bentuk untuk penarikan satuannya adalah derajat. Gaya penarikannya adalah luas area penampang yang ditarik dikalikan dengan tegangan tarik rumusnya sebagai berikut :

$$F = A_f \cdot Y_f \cdot \left(1 + \frac{\mu}{\tan \alpha} \right) \cdot \varphi \cdot \ln \frac{A_0}{A_f} \quad (2.7)$$

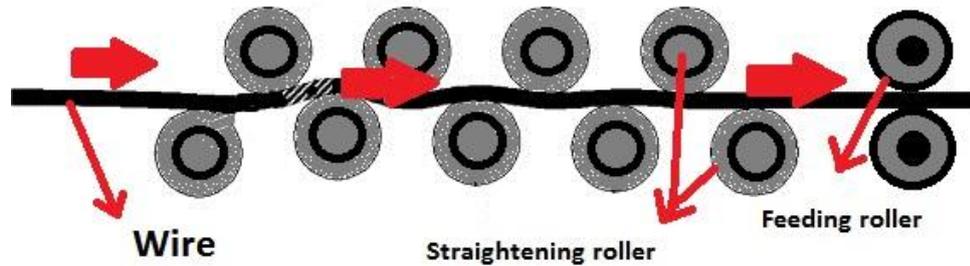
Dimana F = gaya tarik satuannya N (Newton) .

Torsi yang dibutuhkan adalah :

$$\mathbf{T} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{r} \quad (2.8)$$

Dimana, T = Torsi benda berputar (N.m); F = Gaya pada benda (N) diperoleh dari persamaan (2.7) ; r = Jarak lengan benda (m)

Wire straightening merupakan sebuah alat untuk membentuk sebuah kawat gulungan menjadi lurus. alat ini melakukan fungsinya melalui dua tahapan proses yaitu *feeding* (pengumpanan), *straightening* (pelurusan). Mekanisme proses pelurusan kawat bergulung disampaikan pada gambar berikut :



Gambar 2.11 *Roller Straightening*

Proses pengumpanan kawat biasanya dilakukan oleh sebuah roll beralur yang berfungsi untuk menjepit kawat. Mekanismenya adalah kekuatan dorong yang dihasilkan putaran dapat menarik dan mencekam material sehingga kawat dapat dengan baik ditarik atau didorong melalui putaran. Tekanan pemakanan ke gulungan kawat dapat dilakukan dengan menggunakan pegas.

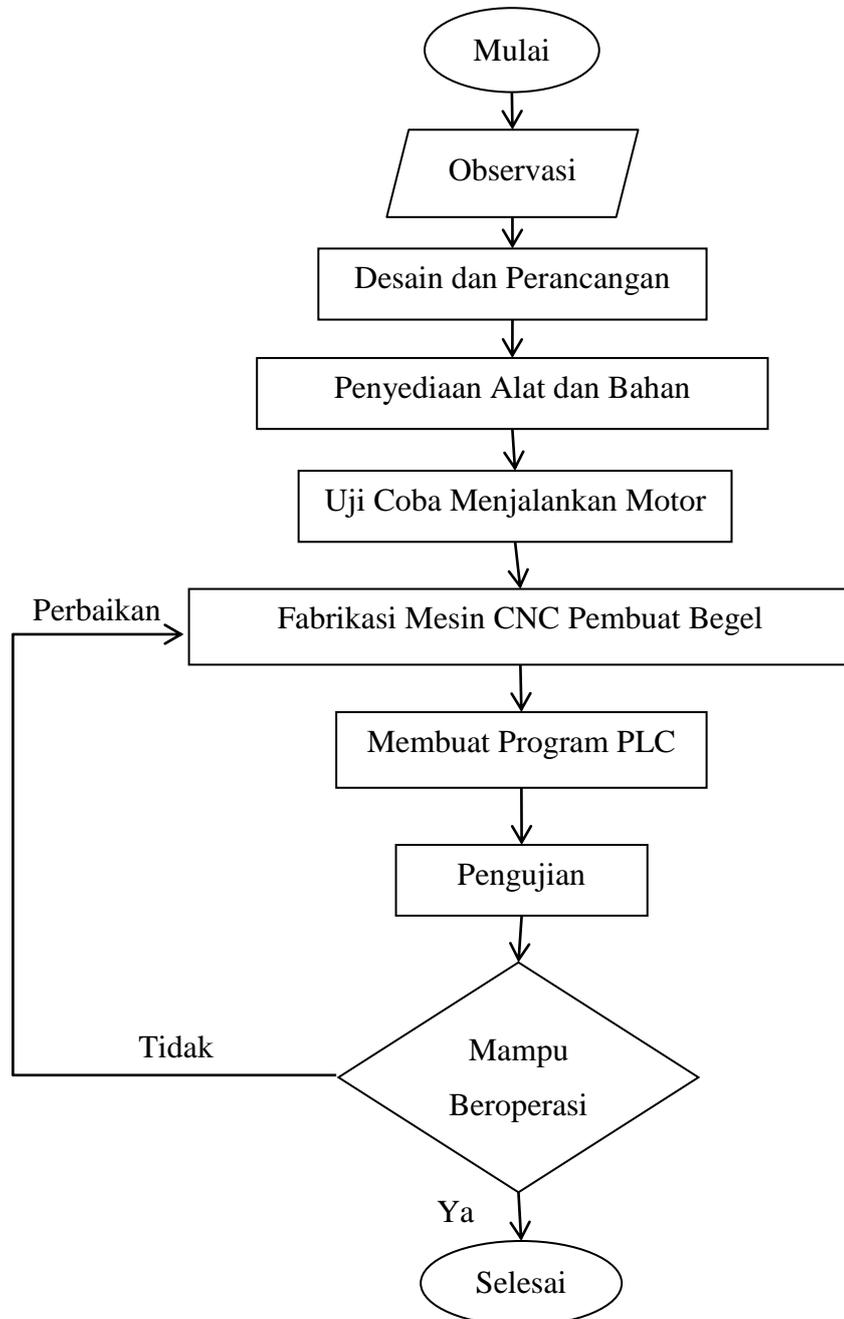
Tahap selanjutnya adalah proses pelurusan. Dalam proses pelurusan kawat, yang menjadi kunci agar dapat dihasilkan hasil yang sempurna maka perlu diatur agar kedudukan *roller* baik itu secara vertikal maupun horizontal berada dalam posisi satu *center*. Selain itu kondisi kelurusan dan permukaan kawat dapat dipengaruhi pula oleh *dies* pelurusan, karena gesekan pada *dies* tersebut menghasilkan beban lentur. Jarak antara *dies* tersebut harus diluruskan dalam batas-batas tertentu untuk diameter untuk memberikan efek terhadap hasil dan tingkat kelurusan dari kawat tersebut.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Berikut ini diagram alir dari beberapa tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat dalam Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Alur Penelitian

3.2 Observasi

Dalam penelitian ini dilakukan observasi dengan tujuan untuk melihat bagaimana proses produksi cincin begel yang sudah ada serta melakukan identifikasi masalah yang terjadi pada proses produksi cincin begel.

a. Identifikasi Masalah

Sebagian besar di Indonesia untuk memproduksi cincin begel masih menggunakan metode manual atau dalam kata lain masih menggunakan tenaga manusia hal ini memungkinkan terjadinya kelalaian dan kelelahan dalam proses penekukan begel sehingga berpengaruh terhadap hasil dan kualitas cincin begel.

b. Deskripsi

Setelah mendapatkan hasil dari identifikasi yang dilakukan, maka selanjutnya membuat deskripsi terkait dengan desain yang akan dibuat. Terkait dengan desain yang akan dibuat/dirancang, ada beberapa kriteria yang telah diinginkan yaitu sebagai berikut :

1. Mesin yang dirancang dengan ukuran/skala yang edukasi.
2. Diameter kawat yang diinginkan adalah 1-3 mm.
3. Material kawat yang digunakan adalah berbahan baja.
4. Kawat dibentuk persegi dengan ukuran yang berbeda-beda.

3.3 Konsep Desain dan Perancangan Alat

3.3.1 Perancangan Alat

Perancangan mesin dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam (Dahlan, 2012) yaitu sebagai berikut :

1. Perancangan Adaptif (*Adaptive Design*)

Yaitu memodifikasi rancangan yang sudah ada secara minor.

2. Perancangan Pengembangan (*Development Design*)

Yaitu mengembangkan Rancangan yang sudah ada menjadi ide baru dengan mengadopsi perkembangan ilmu yang lain misalnya material baru dan metode manufaktur baru.

3. Perancangan Baru (*New Design*)

Jenis ini memerlukan penelitian dan pengembangan .

Dalam pembuatan rancangan mesin CNC pembuat cincin begel ini menggunakan perangkat lunak *solidwork*. Pada saat pembuatan desain rancangan mesin baru ini hal-hal yang harus diperhatikan yaitu sebagai berikut :

a. Ukuran Kawat/Benda Kerja.

Ukuran kawat merupakan hal yang perlu diperhatikan dalam mendesain mesin. Dalam hal ini ukuran kabinet berfungsi untuk menjadi parameter dalam mendesain ukuran celah kawat agar dapat bergerak linier tanpa adanya beban yang berlebih, sehingga ukuran celah tidak terlalu besar dan juga tidak terlalu kecil.

b. Luas Area Mesin.

Luas area mesin menjadi pertimbangan dalam mendesain rancangan mesin karena untuk tujuan perancangan lebih efisien/untuk mengantisipasi pemborosan dalam penggunaan bahan.

c. Pemilihan Material.

Bila desain rancangan mesin sudah jadi, bahan/materialnya yang dipilih harus mudah di fabrikasi sesuai dengan mesin-mesin yang tersedia di Laboraturium Proses Produksi dan mudah untuk diperoleh di pasaran.

d. Mudah Dioperasikan.

Rancangan yang dibuat harus mudah dioperasikan oleh semua pengguna mesin karena tingkat kecerdasan tiap operator/pengguna mesin berbeda-beda.

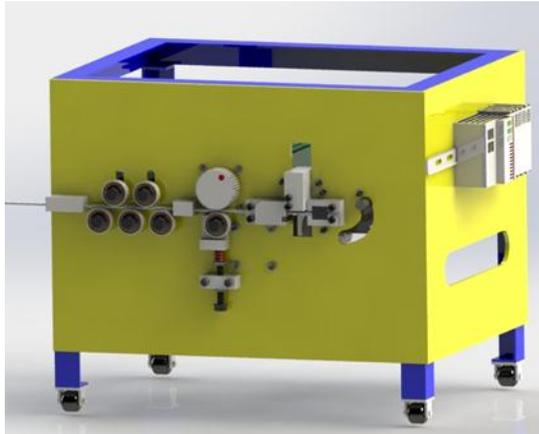
e. Perakitan (*Assembly*)

Proses perakitan merupakan pekerjaan yang memerlukan ketelitian yang cukup baik untuk menyatukan seluruh komponen. Proses ini tidak mudah dilakukan karena harus melakukan beberapa penyesuaian-penyesuaian ukuran antara komponen yang satu dengan komponen yang lainnya sehingga dapat menjadi kesatuan.

3.3.2 Konsep Desain

Setelah melakukan observasi mesin perangkai begel yang sudah ada, dilakukan proses perancangan desain mesin baru menggunakan metode otomasi dengan cara mengontrol motor sehingga bergerak sesuai yang diinginkan. Dalam hal ini motor yang digunakan meliputi 3 motor DC servo yang dimana motor tersebut dipasang di masing-masing proses diantaranya proses pengumpanan,

proses penekukkan, dan proses pemotongan. Desain mesin pembuat begel dapat dilihat pada Gambar 3.2.

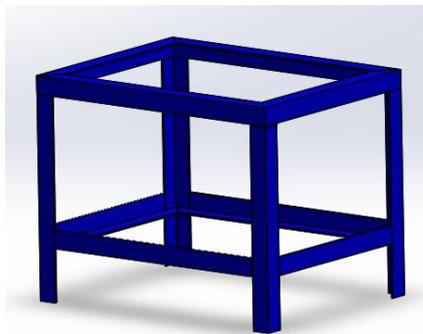


Gambar 3. 2 Desain Mesin Pembuat Begel Otomatis

Pada desain mesin perangkai begel otomatis ini memiliki beberapa komponen beserta fungsinya yaitu sebagai berikut :

1. Rangka

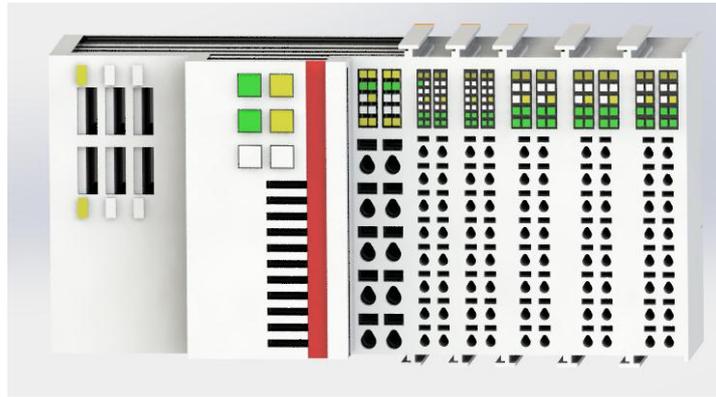
Rangka merupakan komponen yang digunakan sebagaiudukan komponen yang lainnya. Pada bagian rangka keseluruhan menggunakan profil L dengan dimensi 30x30 mm. Desain rangka mesin CNC pembuat begel dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Gambar Rangka Mesin

2. PLC

PLC merupakan sebuah rangkaian elektronik yang dapat mengerjakan berbagai fungsi-fungsi kontrol untuk menerima sinyal perintah pemrogramman dan juga mengeluarkan perintah tersebut berdasarkan yang telah dirancang untuk mengaktifkan kondisi motor sesuai yang diinginkan. PLC Beckhoff dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Progammmble Logic Control

3. Motor DC Servo

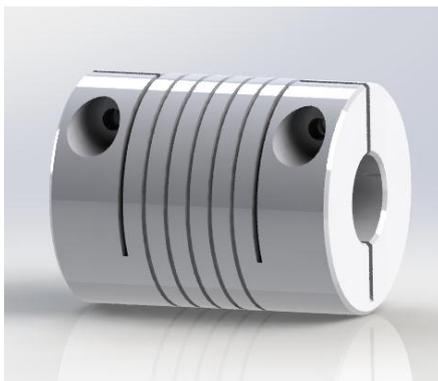
Motor DC Servo merupakan jenis motor yang digunakan sebagai perangkat penggerak atau aktuator. Motor DC servo *Beckhoff* dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Motor DC Servo

4. Fleksibel Kopling

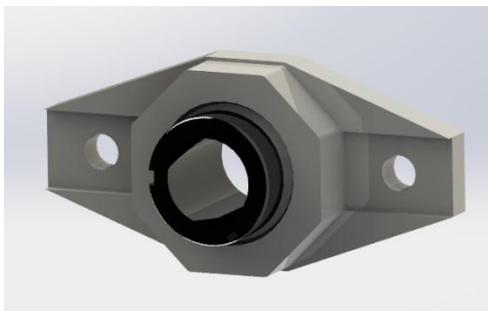
Fleksibel kopling ialah suatu alat yang berfungsi untuk menghubungkan dua poros guna menyalurkan suatu gerak (torsi), secara sederhana kopling berfungsi sebagai transmisi penggerak. Cara kerja kopling ialah ujung kedua poros motor dengan poros lainnya disambungkan pada kopling, maka saat poros motor mulai bekerja (berputar), poros lainnya akan ikut berputar dan apabila ada beban kejutan maka kopling ini dapat meredam hentakannya sehingga motor menjadi aman. Fleksibel kopling dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Flexible Coupling

5. *Pillow Block Bearing*

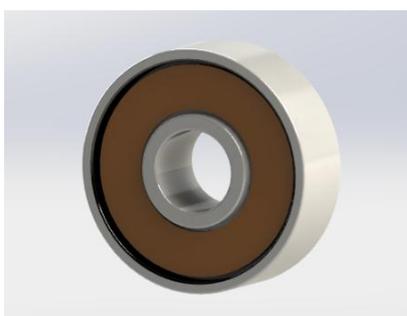
Pillow Block Bearing berfungsi sebagai bantalan luncur poros transmisi. Bantalan luncur tipe *pillow block* dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Pillow Block Bearing

6. *Roller Bearing*

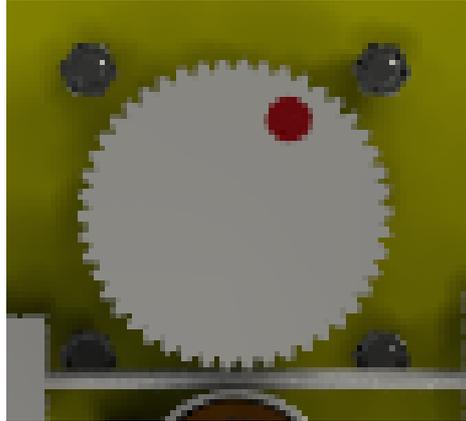
Pada perancangan ini roller bearing digunakan sebagai perangkat pelurus kawat yang dimana pelurus ini berfungsi apabila terdapat kawat yang mengalami kelengkungan/tidak lurus dapat terkena tekanan yang diakibatkan oleh bearing sehingga kawat menjadi lurus. *Roller bearing* dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3. 8 *Roller Bearing*

7. *Pulley* Pengumpan

Pulley pengumpan berfungsi untuk membawa, mengantarkan, benda kerja ke proses yang selanjutnya. *Pulley* pengumpan dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 9 *Pulley* Pengumpan

8. Lengan Penekuk

Lengan penekuk berfungsi sebagai perangkat penyalur gaya dari motor. Dengan berdasarkan hasil perhitungan mekanik dari lengan tersebut, gaya yang didistribusikan dari motor dapat menekuk kawat. Lengan penekuk dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3. 10 Lengan Penekuk

3.3.3 Sistem Elektronik

Sistem elektronik merupakan sistem penunjang kerja alat yang dimana mekanisme kerjanya menggunakan tenaga listrik. Diketahui bahwa alat/mesin pembentuk begel otomatis ini menggunakan perangkat elektronik berupa PLC (*Programmable Logic Control*) sebagai alat pengontrol motor. PLC yang digunakan adalah PLC *Beckhoff*, pada perangkat PLC *Beckhoff* ini terdapat beberapa komponen yang terintegrasi antara lain :

1. *Embeded System CX5010*

Seri perangkat CX5010 adalah sistem kontrol modular yang dirancang dengan sistem terukur sehingga modul yang dibutuhkan dapat dirakit dan dipasang di kabinet kontrol atau kotak terminal sesuai kebutuhan. (Beckhoff, CX5010 | Embedded PC with Intel® Atom™ processor, 2017) lebih jelasnya *embeded sytem CX5010* dapat dilihat pada Gambar 3.11.

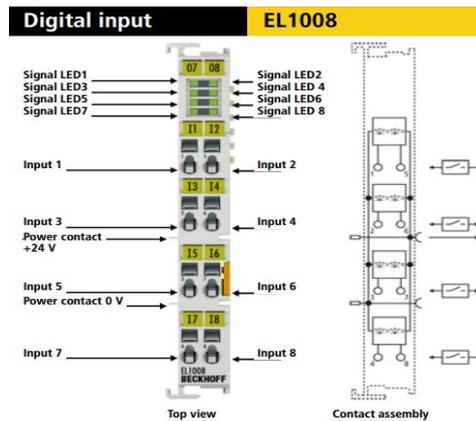


Gambar 3. 11 Embeded System CX5010

Sumber : (Beckhoff, 2017)

2. *Digital Input EL1008*

Sinyal input PLC dalam bentuk digital adalah suatu nilai masukan informasi (*Input*) yang hanya memiliki dua kondisi (Sinyal Biner). Nilai dalam bentuk digital ini biasanya hanya memiliki dua pilihan yang biasa dilambangkan dengan angka 1 dan 0. Atau umumnya dapat diartikan sinyal yang diterima berupa terhubung (*On*) atau terputus (*Off*). Sinyal digital ini diterima PLC dari suatu alat sistem kontrol digital. (Beckhoff, EL1008 | 8-channel digital input terminal 24 V DC, 3 ms, 2017) Modul *digital input EL1008* dapat dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3. 12 Digital Input EL1008

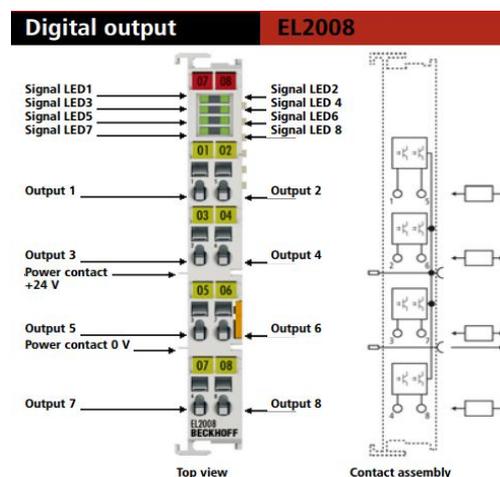
Sumber : (Beckhoff, 2017)

3. Digital Output EL2008

Sama halnya dengan sinyal Digital *Input*, Sinyal *Output* PLC dalam bentuk digital adalah nilai keluaran atau perintah yang dikirimkan PLC ke suatu alat yang juga bekerja secara digital. Sinyal digital dapat diartikan suatu perintah yang hanya memiliki dua kondisi (sinyal biner) yang dikirimkan ke sistem kontrol. Seperti contohnya *on-off*, buka-tutup, *run-stop* pada suatu alat digital yang menerima sinyal tersebut. (Beckhoff, EL2008 | 8-channel digital output terminal 24 V DC, 0.5 A, 2016). Modul *digital output EL2008* dapat dilihat pada Gambar 2.13.

Contoh peralatan yang menerima sinyal digital *Output*:

- Electro motor, *Pump*, *Valve*, *Machine*, dan lainnya.

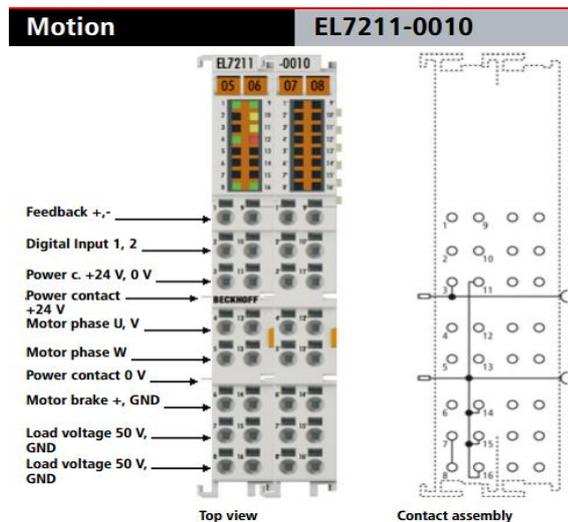


Gambar 3. 13 Digital Output

Sumber : (Beckhoff, 2017)

4. Terminal EL7211-0010 Servo Motor

Terminal EtherCAT EL7211-0010 DC servo motor dengan *Integrated One Cable Technology* (OCT) menawarkan kinerja motor servo tinggi dalam desain yang sangat ringkas. *One Cable Technology* menggabungkan kabel motor dan sistem umpan balik mutlak dalam satu kabel. Sinyal elektronik dari motor *AM81xx* dapat dibaca secara otomatis oleh terminal servo untuk mengkonfigurasi parameter motor secara otomatis. Teknologi kontrol cepat, berdasarkan kendali arus dan kontrol kecepatan lapangan, mendukung kontrol posisi yang cepat dan dinamis. Modul terminal *EL7211-0010 Servo Motor* dapat dilihat pada Gambar 2.14.



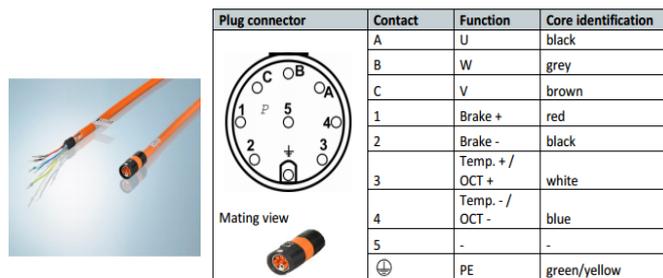
Gambar 3. 14 Terminal Servo Motor EL7211-0010

Sumber : (Beckhoff, 2017)

5. Motor Cable ZK4704-0421-2zzz

Motor Cable ZK4704-0421-2zzz merupakan perangkat penghubung antar motor dengan terminal/driver motor. Dengan menerapkan sistem *Integrated One Cable Technology* (OCT). *Motor cable ZK4704-0421-2zzz* dapat dilihat pada Gambar 3.15.

Motor cable ZK4704-0421-2zzz (OCT)

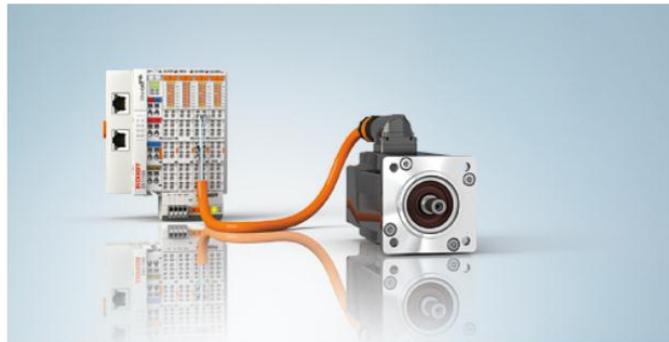


Gambar 3. 15 Motor Cable ZK4704-0421-2zzz

Sumber : (Beckhoff, 2017)

6. *Motor DC Servo AM8122*

Motor servo adalah sebuah perangkat atau aktuator putar yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik *loop* tertutup (*servo*), sehingga dapat di *set-up* atau di atur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros *output* motor. (Beckhoff, AM81xx | Synchronous Servomotors for compact drive technology, 2017) *Motor servo AM8122* dapat dilihat pada Gambar 3.16.



Gambar 3. 16 Motor Servo am8122

Sumber: (Beckhoff, 2017)

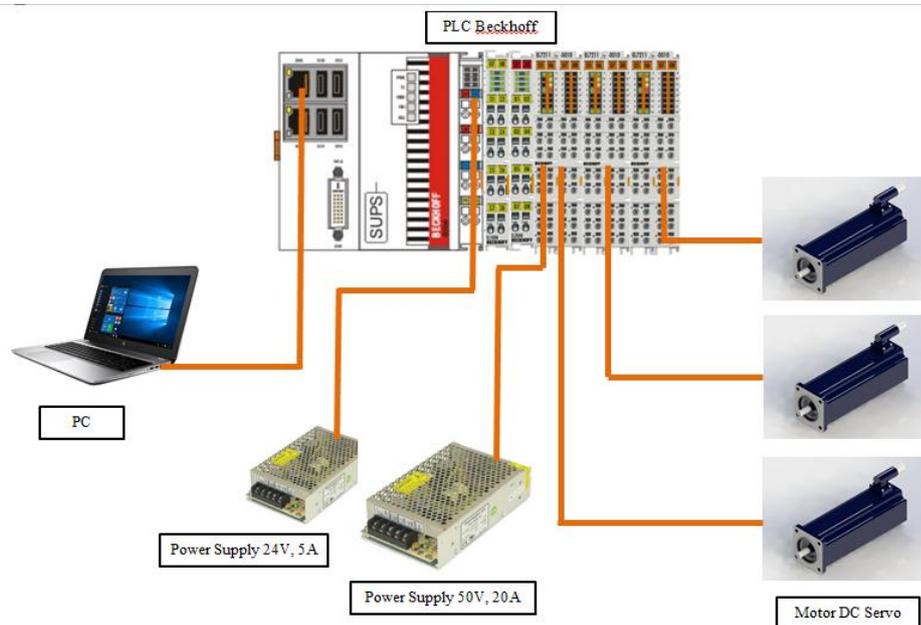
7. *Power Supply*

Power Supply adalah perangkat keras yang berfungsi untuk menyuplai tegangan langsung pada komponen dalam *casing* yang membutuhkan tegangan, misalnya *motherboard*, hardisk, kipas, dll. Namun dalam hal ini *power supply* digunakan untuk mendukung perangkat PLC. Sesuai dengan kebutuhannya *power supply* yang digunakan adalah 2 buah *power supply* dengan tegangan 24v dan arus 5A, serta tegangan 50v dan arus 20A. *Power supply* dapat dilihat pada gambar 3.17



Gambar 3. 17 Power Supply
Sumber : (Skycraftsurplus, 2017)

Berikut ini merupakan rangkaian sistem elektronika pada PLC yang dapat dilihat pada gambar 3.18

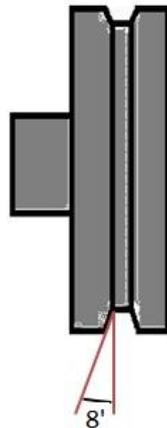


Gambar 3. 18 Rangkaian Sistem Elektronik

Pada rangkaian sistem elektronika menggunakan 2 *power supply*, *power supply* 24v 5 A untuk menyuplai perangkat IPC dan *power supply* 50v 20A untuk menyuplai perangkat motor driver. Besarnya tegangan dan arus ditentukan berdasarkan kebutuhan perangkat tersebut. Untuk pengkabelan dapat melihat data spesifikasi yang terdapat pada masing-masing perangkat terminal PLC.

3.3.4 Perhitungan Torsi Yang Dibutuhkan Untuk Mekanisme Pelurus

Untuk mencari besar torsi yang bekerja diperlukan beberapa perhitungan dengan beberapa komponen seperti α ; K ; n dan μ yang nilainya terdapat pada Gambar 3.19, Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.



Gambar 3. 19 Sudut Landasan *Roller* Pengumpan

Tabel 3. 1 Koefisien Kekuatan (K) dan Eksponen Pengeran Regangan (n) untuk proses ekstrusi

Sumber : (Groover, 2010)

Material	Strength Coefficient, K		Strain Hardening Exponent, n
	MPa	lb/in ²	
Aluminum, pure, annealed	175	25,000	0.20
Aluminum alloy, annealed ^a	240	35,000	0.15
Aluminum alloy, heat treated	400	60,000	0.10
Copper, pure, annealed	300	45,000	0.50
Copper alloy: brass ^a	700	100,000	0.35
Steel, low C, annealed ^a	500	75,000	0.25
Steel, high C, annealed ^a	850	125,000	0.15
Steel, alloy, annealed ^a	700	100,000	0.15
Steel, stainless, austenitic, annealed	1200	175,000	0.40

Tabel 3. 2 Karakteristik Nilai Temperatur, Eksponen Nilai Renggangan dan Koefisien Gesek untuk Pengerjan Dingin, Hangat dan Panas

Sumber : (Groover, 2010)

Category	Temperature Range	Strain-Rate Sensitivity Exponent	Coefficient of Friction
Cold working	$\leq 0.3T_m$	$0.000 \leq m \leq 0.05$	0.1
Warm working	$0.3T_m - 0.5T_m$	$0.05 \leq m \leq 0.1$	0.2
Hot working	$0.5T_m - 0.75T_m$	$0.05 < m < 0.4$	0.4-0.5

Diketahui nilai D_0 kawat = 1 mm; D_1 kawat = 0,99 mm; K besi karbon rendah = 500 MPa; n besi karbon rendah = 0,25; $\mu = 0,05$; $\alpha = 8^0$

Dari data diatas maka gaya (F) dan torsi (T) dapat dicari dengan langkah sebagai berikut :

Langkah (1) adalah mencari regangan (ϵ)

$$\epsilon = \ln \frac{A_0}{A_f} = \ln \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{3,14 \cdot 0,495^2} = 0,02$$

Dimana, A_0 = luas penampang awal dalam mm²

A_f = luas penampang akhir dalam mm²

Langkah (2) adalah mencari tegangan aliran rata-rata (Y_f)

$$Y_f = \frac{K \cdot \epsilon^n}{1+n} = \frac{500 \text{ Mpa} \cdot 0,02^{0,25}}{1+0,25}$$

$$Y_f = 150,42 \text{ Mpa}$$

Dimana, ϵ = regangan

n = eksponen pengerasan

K = konstanta kekuatan.

Langkah (3) adalah mencari faktor ketidak homogenan deformasi (ϕ) yang dapat dicari dengan cara dibawah ini :

$$\phi = 0,88 + 0,12 \frac{D}{L_c} = 0,88 + 0,12 \frac{0,0995}{0,036} = 4,19$$

Dimana, D = Diameter rata-rata kawat dalam (mm)

$$D = \frac{D_0 + D_f}{2} = \frac{1 + 0,99}{2} = 0,995$$

L_c = Panjang kawasan kontak dalam (mm)

$$L_c = \frac{D_0 + D_f}{2 \sin \alpha} = \frac{1 + 0,99}{2 \sin 8} = 0,036$$

Langkah (4) mencari gaya (F)

$$F = A_f \cdot Y_f \cdot \left(1 + \frac{\mu}{\tan \alpha}\right) \cdot \varphi \cdot \ln \frac{A_0}{A_f}$$

$$F = (3,14 \cdot 0,495^2) \cdot 150,42 \cdot \left(1 + \frac{0,25}{\tan 8}\right) \cdot 4,19 \cdot \ln \frac{1}{0,99}$$

$$F = 0,77 \cdot 150,42 \cdot 2,78 \cdot 4,19 \cdot 0,01$$

$$F = 13,49N$$

Dimana μ = koefisien gesek

α = sudut tirus landasan roller dalam derajat

Langkah (5) Mencari torsi yang bekerja pada proses pelurusan kawat (T)

$$T = F \cdot r$$

$$T = 13,49N \cdot 0,03m$$

$$T = 0,41N / m$$

Dimana. T = torsi N/m

r = panjang lengan gaya (m)

F = gaya (N).

Dengan torsi kerja pengumpanan 0,41 N/m < torsi motor 0,8 N/m dapat disimpulkan motor mampu menarik kawat tanpa memerlukan reduksi mekanis.

3.3.5 Perhitungan Nilai *Input* Motor Pada Program

Pada proses pengumpanan kawat, motor perlu dikendalikan dengan *input* sebuah program pada kontroler yang nilainya hanya dalam bentuk derajat maka diperlukan konversi nilai. Diameter *pulley* yang dibuat adalah 48 mm maka jari-jarinya 24 mm.

Radian dan derajat adalah dua satuan yang digunakan untuk mengukur sudut. Lingkaran terdiri dari 2π radian, yang setara dengan 360° ; kedua nilai ini melambangkan "satu kali keliling" lingkaran. Dengan demikian, 1π radian melambangkan keliling lingkaran sejauh 180° .

$$\theta = 2 \pi \text{ rad}$$

$$1 \text{ rev} = 360^\circ$$

$$360^\circ = 2\pi \text{ rad}$$

Apabila sebuah benda melakukan gerak rotasi pada suatu poros, maka setiap partikel benda tersebut akan bergerak dalam suatu lintasan berupa lingkaran yang berpusat pada poros tersebut. Misalkan titik A berada pada benda maka titik A itu akan berpindah mengikuti lintasan lingkaran. Perpindahan titik A tersebut dapat dikatakan mengalami perpindahan linier dan perpindahan sudut. Hubungan antara perpindahan linier titik A yang diukur sepanjang lingkaran (X) dan perpindahan sudut (θ) yang telah dilalui titik A dapat dinyatakan sebagai berikut :

Tabel 3. 3 Hubungan Translasi Rotasi

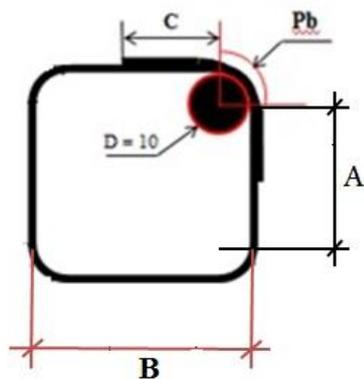
<i>Translasi</i>	<i>Tipe</i>	<i>Rotasi</i>	<i>Hubungan</i>
X	Perpindahan	θ	$X = r.\theta$

Dimana, x = perpindahan linier

r = jari – jari lintasan lingkaran

θ = perpindahan sudut

Untuk membuat cincin begel ukuran 100x100 mm diperlukan sebuah perintah pengumpanan pada motor DC servo. Motor DC servo hanya bisa membaca target posisi dengan satuan derajat ($^\circ$) oleh sebab itu diperlukan konversi dari jarak dalam satuan mm ke derajat. Tahap pertama adalah menentukan panjang pengumpanan melalui perhitungan di bawah ini:



Gambar 3. 20 Ukuran cincin begel

Dimana,

$$A = B - 2r - 2h$$

B = Panjang sisi begel

C = 62 mm (Jarak antara titik tumpuan dengan titik pemotongan)

D = 10 mm, r = 5 mm (Diameter tumpuan)

h = 1 mm (Diameter kawat)

Pb = Panjang kawat yang melengkung = 8.6 mm

Dengan perhitungan di atas maka diperoleh panjang pengumpanan :

Untuk begel 1 ukuran 100 x100 mm

a. $C+Pb = 70,6 \text{ mm}$

b. $(B-2r-2h)+Pb = [100-2(5)-2(1)]+8,6 = 88+8,6 = 96,6 \text{ mm}$

Untuk begel 1 ukuran 120 x120 mm

a. $C+Pb = 70,6 \text{ mm}$

b. $(B-2r-2h)+Pb = [120-2(5)-2(1)]+8,6 = 106,6+8,6 = 116,6 \text{ mm}$

Konversi panjang kawat dimulai dengan konversi panjang dalam mm ke rad caranya seperti dibawah ini

$$\theta = \frac{x}{r} = \frac{70,6\text{mm}}{24} = 2,94\text{rad}$$

$$\theta = \frac{x}{r} = \frac{96,6\text{mm}}{24} = 4,16\text{rad}$$

Setelah diperoleh nilai rad maka dikonversi lagi ke derajat caranya seperti dibawah ini

$$\text{Panjang} = \text{rad} \cdot \frac{360^0}{2\pi\text{rad}} = 2,94\text{rad} \cdot \frac{360^0}{2 \cdot \pi\text{rad}} = 168,32^0$$

$$\text{Panjang} = \text{rad} \cdot \frac{360^0}{2\pi\text{rad}} = 4,16\text{rad} \cdot \frac{360^0}{2 \cdot \pi\text{rad}} = 230,73^0$$

Berikut adalah perhitungan konversi jarak dalam mm ke derajat untuk ukuran cincin begel 120x120mm. Yang pertama adalah konversi jarak ke rad.

$$\theta = \frac{x}{r} = \frac{70,6\text{mm}}{24} = 2,94\text{rad}$$

$$\theta = \frac{x}{r} = \frac{116,6\text{mm}}{24} = 4,85\text{rad}$$

Setelah memperoleh nilai rad maka dikonversi lagi ke derajat

$$\text{Panjang} = \text{rad} \cdot \frac{360^0}{2\pi\text{rad}} = 2,94\text{rad} \cdot \frac{360^0}{2 \cdot \pi\text{rad}} = 168,32^0$$

$$\text{Panjang} = \text{rad} \cdot \frac{360^0}{2\pi\text{rad}} = 4,85\text{rad} \cdot \frac{360^0}{2 \cdot \pi\text{rad}} = 278,02^0$$

3.4 Peralatan dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini beserta fungsinya ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 4 Alat

NO	Alat	Fungsi
1	Mesin freis	Memakan logam
2	Mesin bubut	Memakan benda silinder
3	Las listrik	Menyatukan 2 bagian besi menjadi 1
4	Gerinda Tangan	Menghaluskan dan memotong
5	Kunci Pas dan Kunci Ring	Mengencangkan dan melepaskan mur baut
6	Mesin Bor atau <i>Drill</i>	Membuat lubang pada alat
7	Kunci L	Mengencangkan baut
8	<i>Hand Tap</i> M5	Membuat ulir dalam
9	Penggaris atau Mistar	Mengukur bahan sesuai yang diinginkan
10	Jangka Sorong	Mengukur bahan dengan ukuran kecil

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain ditunjukkan pada Tabel 3.2 di bawah ini :

Tabel 3. 5 Bahan

NO	Bahan	Jumlah
1	Motor DC servo	3
2	Mur dan baut M4,M5,6M,M8	40
3	Alumunium silinder 50 mm	1
4	<i>Set screw</i>	5
5	<i>Pillow block bearing</i>	6
6	<i>Roller bearing 30mm</i>	6
7	Fleksibel kopling	3
8	Kontroler bechhoff	1
9	<i>Power supply 24v 5A</i>	1
10	<i>Power supply 50v 20A</i>	1
11	Roda <i>trolly</i>	4

12	Poros 12 mm	1
13	DIN <i>rail</i>	1
14	Besi siku 30x30mm	1
15	Plat besi 5 mm	1
16	Plat besi 1mm	1
17	Kawat baja 1mm	1
18	Pegas	3
19	Cat <i>Spray</i>	3
20	HSS	1
21	Plat besi 3mm	1
22	Kabel	1

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

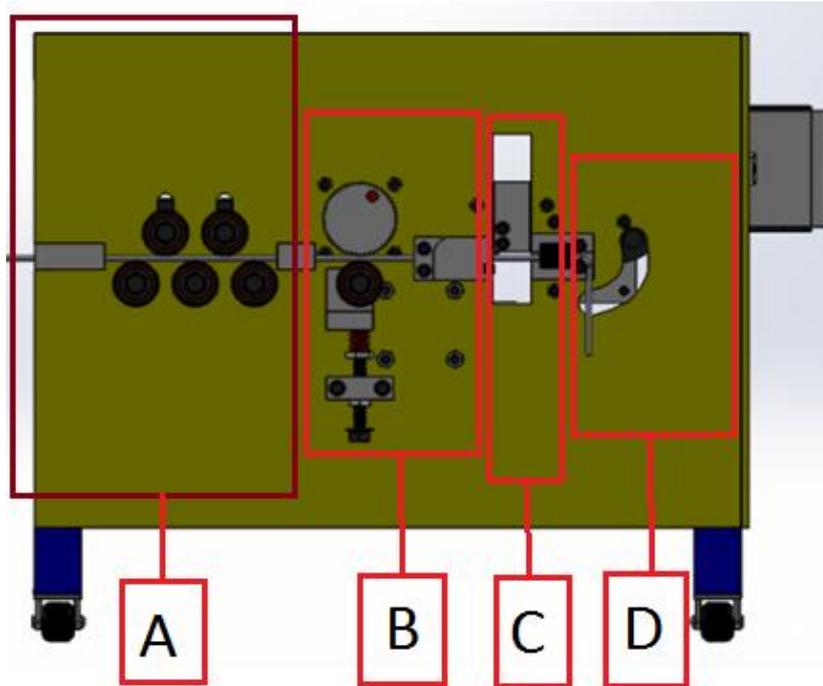
4.1 Hasil Perancangan Mesin CNC Pembuat Cincin Begel

Dari hasil observasi dan studi literatur yang dilakukan pada umumnya mekanisme kerja mesin CNC pembentuk begel ini hampir semuanya sama yaitu meliputi proses pelurusan, pengumpanan, penekukkan, dan pemotongan. Oleh karena itu hasil perancangan yang dibuat meliputi empat proses tersebut. Deskripsi mekanisme kerja yang diperoleh menjadi acuan dalam pembuatan desain.

Desain gambar perancangan dibuat menggunakan perangkat lunak Solidworks 2016. Pembuatan gambar perancangan dimulai dengan membuat sebuah gambar bagian komponen dari setiap unit. Semua komponen digambar 3D agar menghasilkan gambar perancangan yang mudah dipahami. Proses pembuatan gambar ini menggunakan pilihan “Part” pada awal pemilihan penggambaran. Setelah semua komponen telah dibuat gambar perancangannya maka dilakukan perakitan gambar komponen dengan pilihan “Assembly”. Setelah terangkai menjadi desain mesin dilakukan simulasi animasi mekanisme kerja mesin. Hasil perancangan mesin simulasi CNC pembuat cincin begel dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan 4.2.



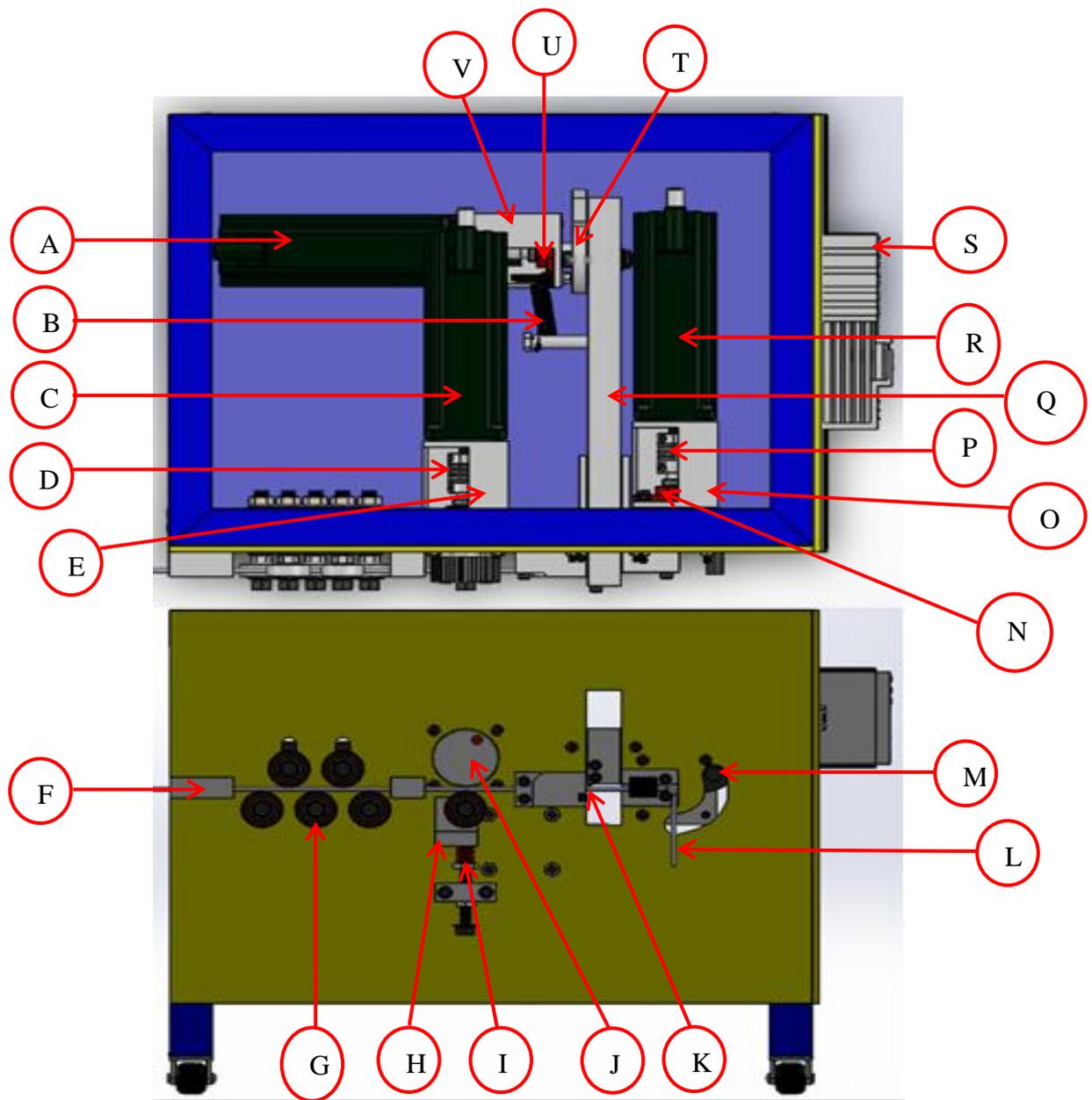
Gambar 4. 1 Desain Mesin CNC Pembuat Cincin Begel



Gambar 4. 2 Empat Mekanisme pada Mesin CNC Begel

Pada gambar 4.2 dijelaskan bahwa A adalah unit pelurus, B adalah unit pengumpan dan C adalah unit pemotong dan D adalah unit penekuk. Dalam hal ini penulis lebih fokus untuk membahas sistem atau unit pelurus dan pengumpan.

Dari hasil perakitan desain gambar komponen atau *assembly* menghasilkan konsep desain digunakan sebagai acuan untuk fabrikasi alat, kemudian dapat ditentukan kebutuhan alat dan bahan yang diperlukan untuk fabrikasi alat. Komponen mesin CNC begel dapat dilihat pada Gambar 4.3.



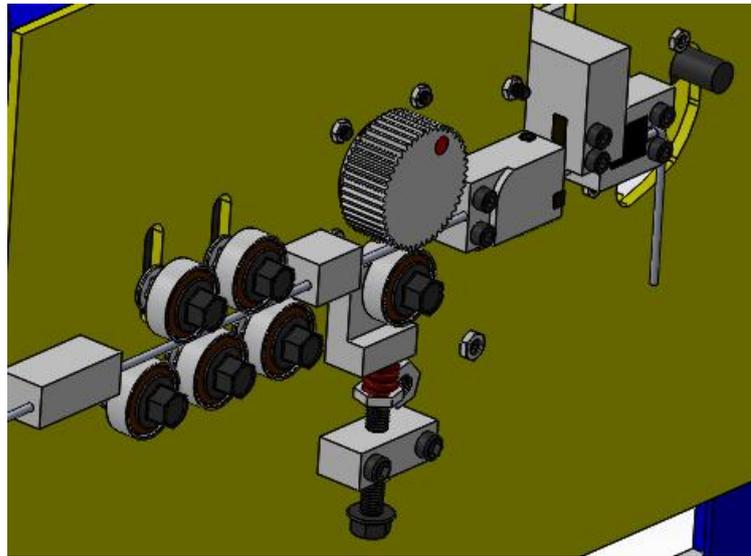
Gambar 4. 3 Komponen-komponen

Keterangan :

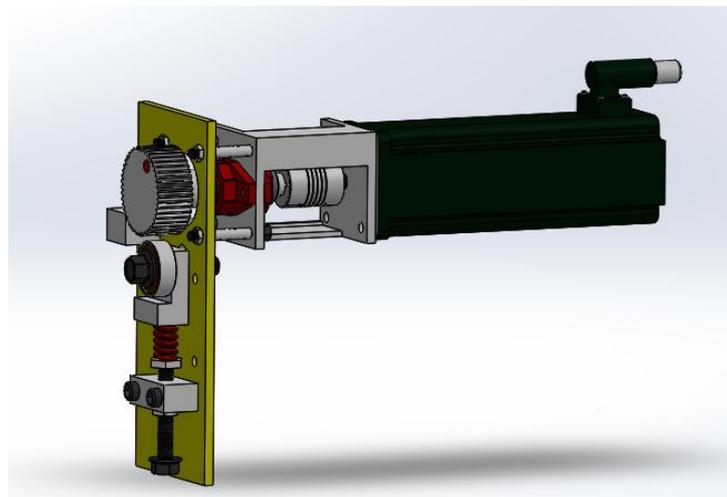
- | | | |
|--------------------------------|------------------------------|------------------|
| A. Motor pemotong | K. HSS | U. Pillow Block |
| B. Pegas | L. Kawat | V. Dudukan Motor |
| C. Motor Pengumpan | M. Lengan Penekuk | |
| D. Fleksibel Kopling Pengumpan | N. Pillow Block | |
| E. Dudukan Motor Pengumpan | O. Dudukan Motor Penekuk | |
| F. Dudukan Kawat | P. Flexible Coupling penekuk | |
| G. Roller Bearing | Q. Lengan Pemotong | |
| H. Ajuster Pulley | R. Motor Penekuk | |
| I. Pegas | S. PLC | |
| J. Pulley | T. CAM Pemotong | |

4.4.1 Hasil Perancangan Sistem Pengumpan

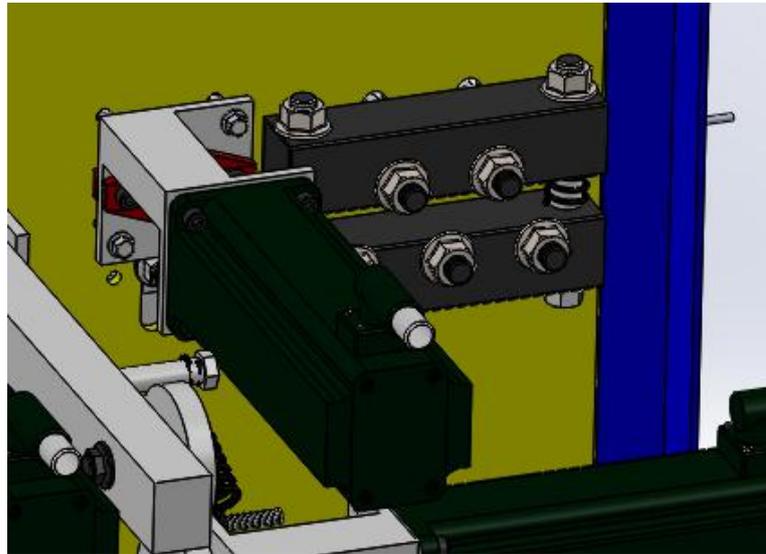
Perancangan sistem pengumpan ini meliputi beberapa komponen diantaranya adalah motor DC servo, *pillow block bearing*, fleksibel kopling, poros, lengan, dudukan motor, pegas, *roller bearing*, *pulley*, mur baut, dan cover plat. Desain sistem pengumpan kawat dari berbagai perspektif dapat dilihat pada Gambar 4.4 , 4.5, 4.6 dan 4.7.



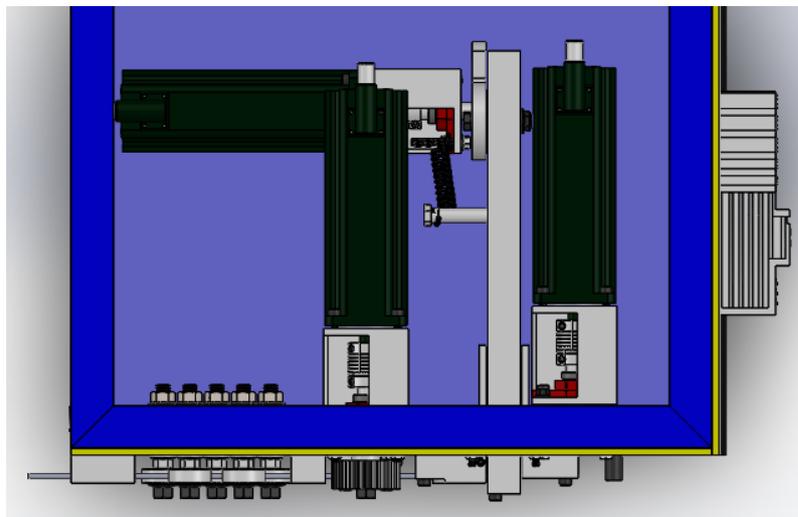
Gambar 4. 4 Desain Sistem Pelurus & Pengumpan Tampak Isometric



Gambar 4. 5 Mekanisme Pengumpan dan *Adjustment Roller*



Gambar 4. 6 Desain Sitem Pelurus & Pengumpan Tampak Belakang



Gambar 4. 7 Desain Pelurus & Pengumpan Tampak Atas

4.4.2 Pembuatan Sistem Pengumpan

Pembuatan alat dilakukan di Laboratorium Proses Produksi Jurusan Teknik Mesin FTI UII dengan menggunakan mesin serta alat-alat yang tersedia disana seperti mesin bubut, mesin frais, mesin *single bor*, mesin las, *hand bor*, gerinda potong, kikir, penggaris, jangka sorong, kunci pas, kunci L dan lain sebagainya. Berikut beberapa unit utama pada sistem penekuk yang dibuat :

1. *Roller* pelurus

Roller pelurus dibuat dengan memanfaatkan *roller bearing* dibuat dengan panjang *track* kawat 20 cm. Mekanisme pelurus kawat dengan roller dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 *Roller Pelurus*

2. Dudukan Motor

Dudukan motor dibuat dari 2 plat besi berlubang dengan tebal 3 mm serta panjang 60 mm dan lebar 60 mm kemudian disambung atau dilas dengan besi profil L berukuran tebal 3 mm. Rangka untuk dudukan motor DC servo dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Dudukan Motor

3. *Pulley* pengumpan

Pulley pengumpan dibuat dari alumunium silinder yang nantinya dibubut lalu diberi alur berigi agar tidak terjadi selip. *Pulley* pengumpan dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 *Pulley* Pengumpan Kawat

5. *Adjustment pulley* pengumpan

Adjustment pulley pengumpan berfungsi untuk mengatur tekanan penjepitan kawat agar permukaan kawat saling bersinggungan dengan *pulley* pengumpan. Komponen ini terdiri dari roller bearing dan baut penekan yang ujungnya diberi pegas. *Adjuster pulley* pengumpan dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 *Adjustment Pulley* Pengumpan

6. *Adjustment roller* pelurus

Adjustment roller pelurus berfungsi untuk mengatur tekanan *roller* pelurus sehingga roller bersinggungan dengan permukaan kawat untuk menghasilkan kawat yang lurus. Komponen berupa roller bearing, besi kotak, *ring spacer*, mur baut dan pegas. *Adjustment roller* pengumpan dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 *Adjustment Roller* Pelurus

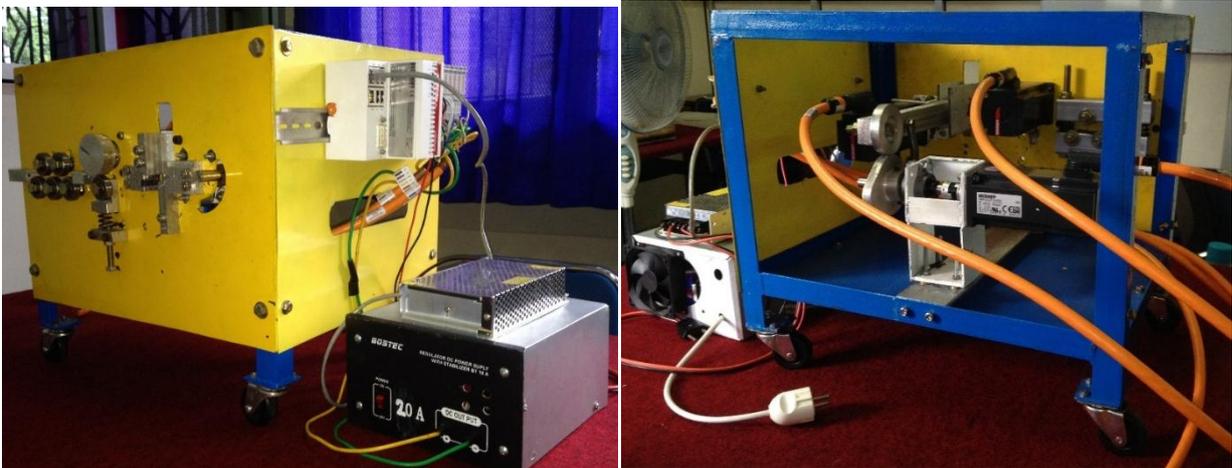
7. Cover Plat

Cover Plat dibuat dari bahan besi plat 5 mm, proses pembuatannya dengan cara di-bor sehingga terbentuk lubang-lubang yang telah disesuaikan dengan desain. *Cover plat* dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 13 *Cover Plat*

Setelah beberapa unit utama pada proses pengumpan difabrikasi maka dilakukan proses perakitan sehingga hasil dapat dilihat pada Gambar 4.13.



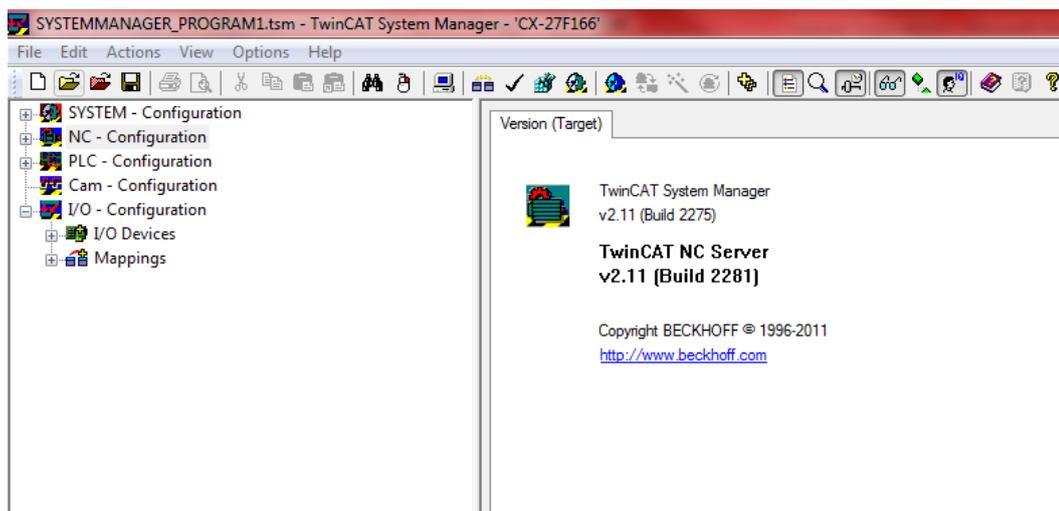
Gambar 4. 14 Hasil Perancangan Proses Pengumpan pada Mesin CNC pembuat Begel

4.2 Kontrol Sistem pada Perangkat Lunak Twincat

4.2.1 Kontrol Sistem Pada Twincat System Manager

Sistem Manajer merupakan konfigurasi untuk proses pembacaan perangkat terminal yang terintegrasi pada PLC *Beckhoff* diantaranya adalah pembacaan perangkat *actuator* (NC-Configuration), pembacaan program PLC (PLC-Configuration), pembacaan cam (Cam-Configuration), dan pembacaan

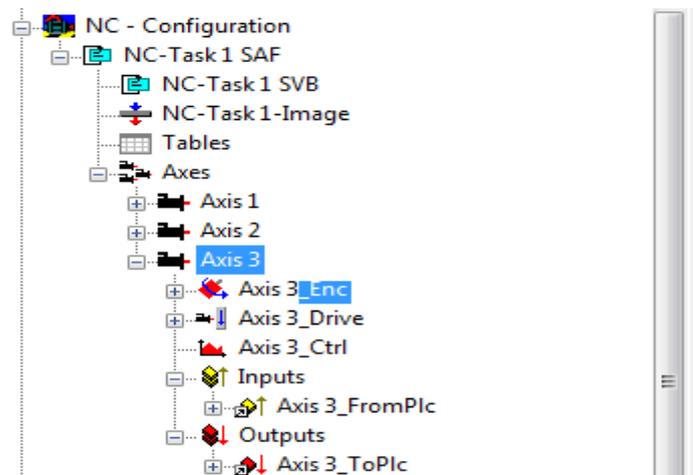
perangkat input/output (I/O-Configuration). Sistem manajer perangkat lunak twincat dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4. 15 System Manager TwinCat

1. Pembacaan NC-Configuration

Pada pembacaan NC-Configuration terdapat 3 axis yang merupakan pembacaan dari jumlah motor yang digunakan. Pada NC-Configuration didalamnya terdapat parameter-parameter untuk proses kontrol motor. NC-configuration dapat dilihat pada Gambar 4.15.

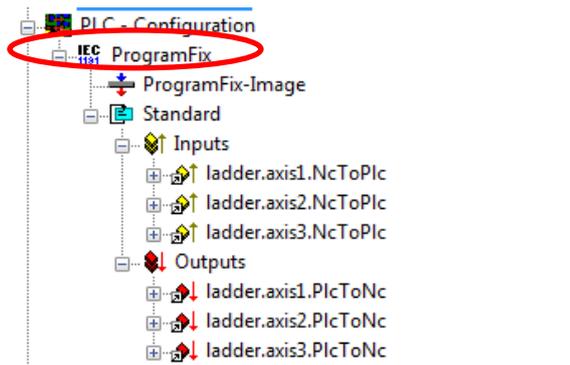


Gambar 4. 16 NC-Configuration

2. Pembacaan PLC-Configuration

PLC-Configuration merupakan pembacaan dari program PLC yang dikerjakan kemudian dipanggil ke sistem manajer agar program tersebut dapat terintegrasi dengan parameter-parameter yang diatur pada NC-Configuration, dalam hal ini

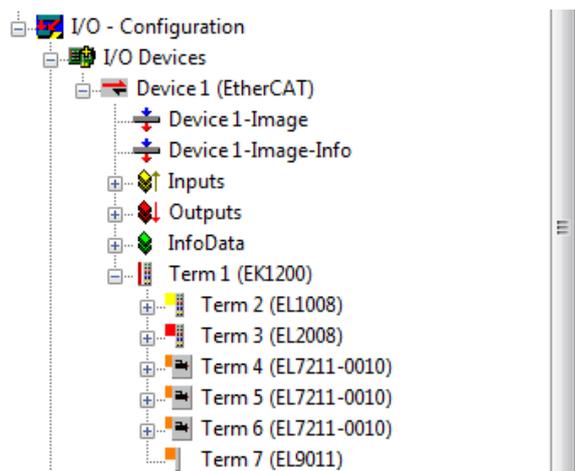
program PLC dibuat sedemikian rupa dengan variabel nama “ProgramFix”.
 PLC- configuration dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4. 17 PLC-Configuration

3. Pembacaan I/O-Configuration

Pada I/O-Configuration terdapat perangkat terminal yang terbaca pada *system manager*, diantaranya adalah *terminal digital input (EL1008)*, *terminal digital output (EL2008)*, serta *terminal driver motor (EL7211)*. Dalam kasus ini *driver motor* yang digunakan berjumlah 3 buah karena menyesuaikan dengan jumlah motornya. I/O-configuration dapat dilihat pada Gambar 4.17.



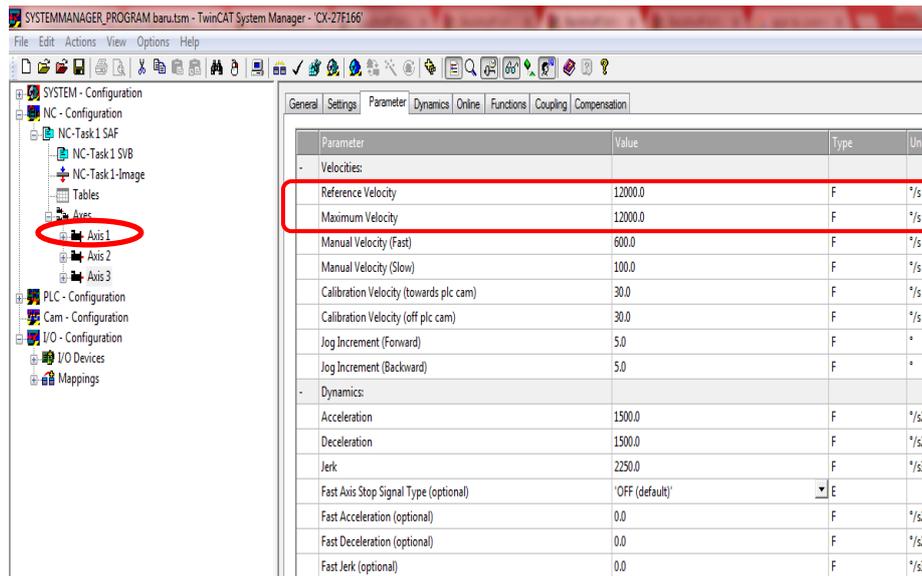
Gambar 4. 18 I/O-Configuration

4. Setting Parameter pada NC-Configuration dapat dilihat pada Gambar 4.18.

➤ Parameter *Velocity*

Kecepatan maksimum dihitung berdasarkan kecepatan motor maksimum pada spesifikasi motor dan jarak, dalam putaran per detik.

$$V_{max} = \frac{V_{max\ motor} \times 360^\circ}{60s} = \frac{2000 \times 360^\circ}{60s} = 12000 \text{ }^\circ/s$$

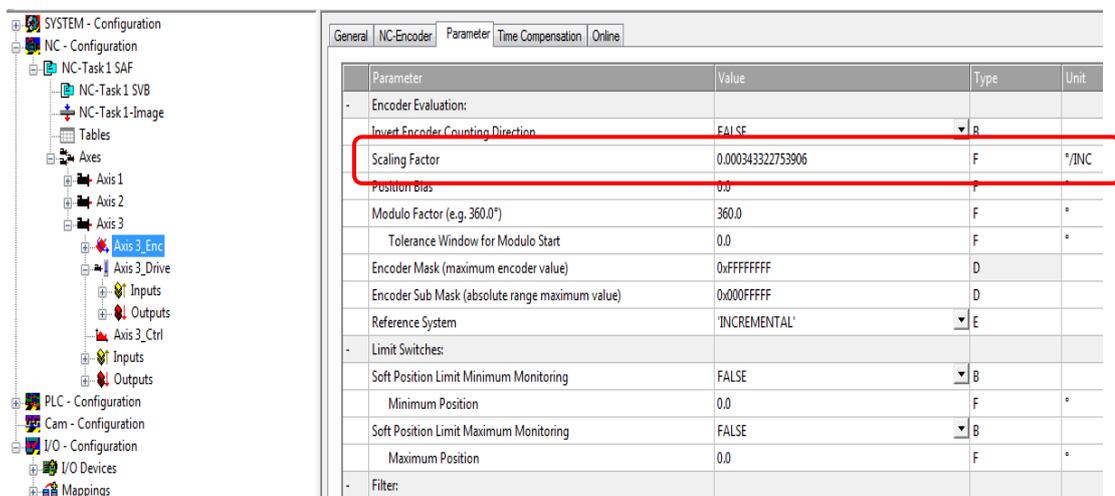


Gambar 4. 19 Parameter Kecepatan Maksimum Motor

➤ Parameter *Scaling Factor* dapat dilihat pada Gambar 4.19.

Scaling Faktor (faktor penskalaan) perhitungannya didasarkan pada asumsi bahwa satu revolusi sesuai dengan 360 °. Jumlah *bit single-turn* diperhitungkan dalam perhitungan faktor penskalaan. Seperti yang ditunjukkan di atas, pengaturan standar untuk EL72x1-xxxx adalah 20 *bit single-turn*. Fungsi nilai ini ialah untuk pengaturan revolusi motor, jika nilai tidak sesuai maka putaran tidak mencapai 360 °.

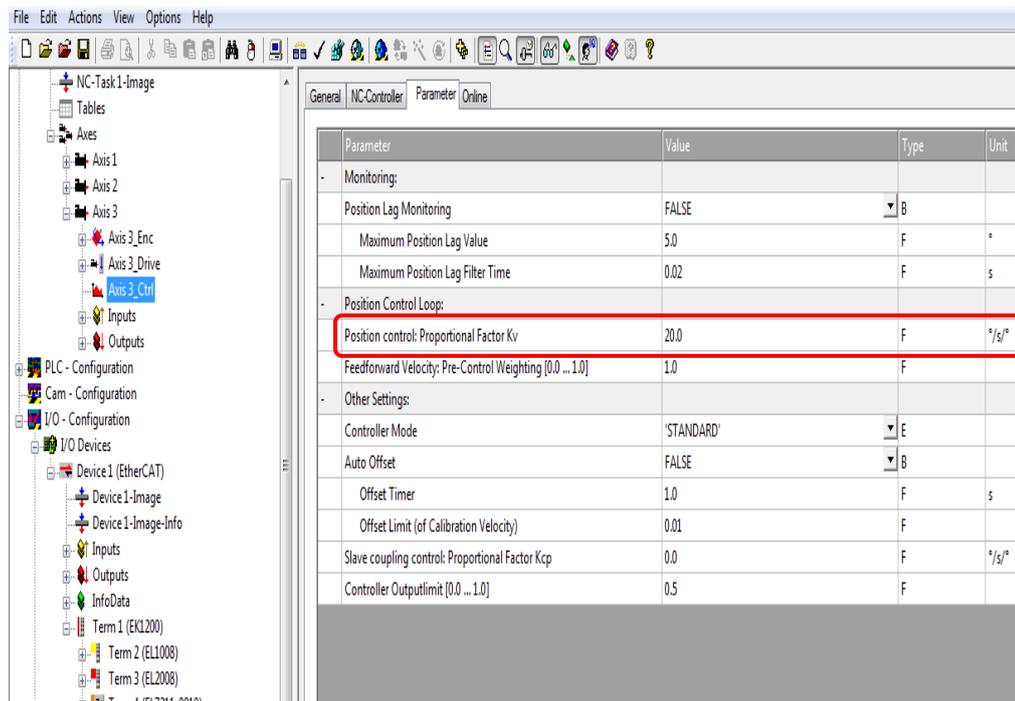
$$SF = \frac{\text{distance per round}}{20 \text{ Singleturn Bits}} = \frac{360^\circ}{2^{20}} = 0.000343322753906 \text{ } ^\circ/\text{INC}$$



Gambar 4. 20 Scaling Factor

➤ Parameter Kv-Factor

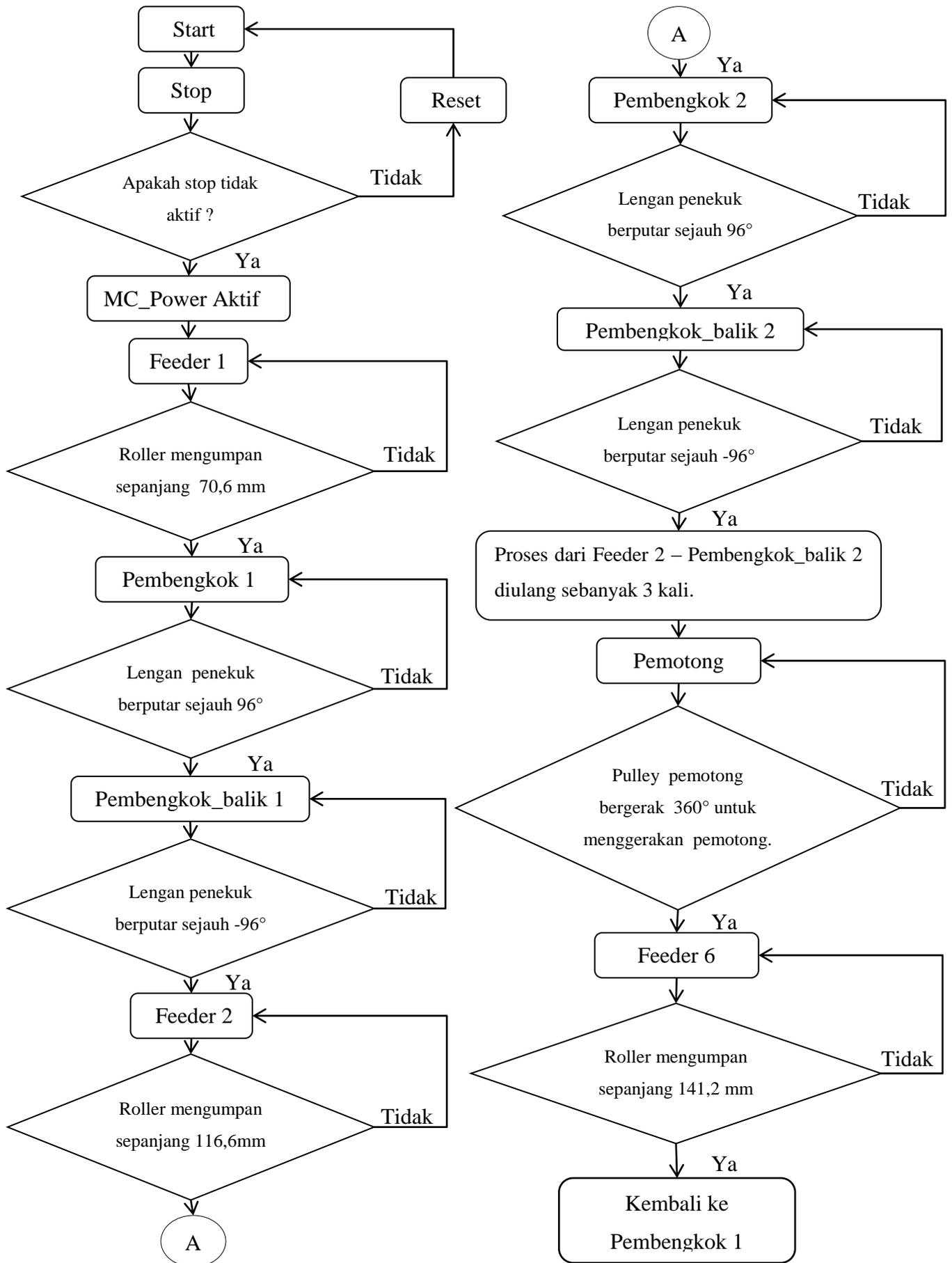
Kv-Factor merupakan Konstanta Proporsional yang faktornya bisa digunakan untuk mengatur torsi *startup* dan torsi pengereman. Berdasarkan hasil percobaan dan pendekatan, untuk proses penekukkan nilai Kv-Faktor diberi nilai 20. Pengaturan Kv faktor dapat dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4. 21 Kv-Factor

4.2.2 Kontrol Sistem pada TwinCat PLC Control

Program yang dibuat dirancang untuk mengendalikan proses pembuatan begel. Program tersebut berbentuk *ladder diagram* dengan sistem kerja sesuai dengan diagram alir pada Gambar 4.21 dan dengan menggunakan fungsi-fungsi internal serta instruksi-instruksi yang ada pada *TwinCat* PLC seperti pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.22.



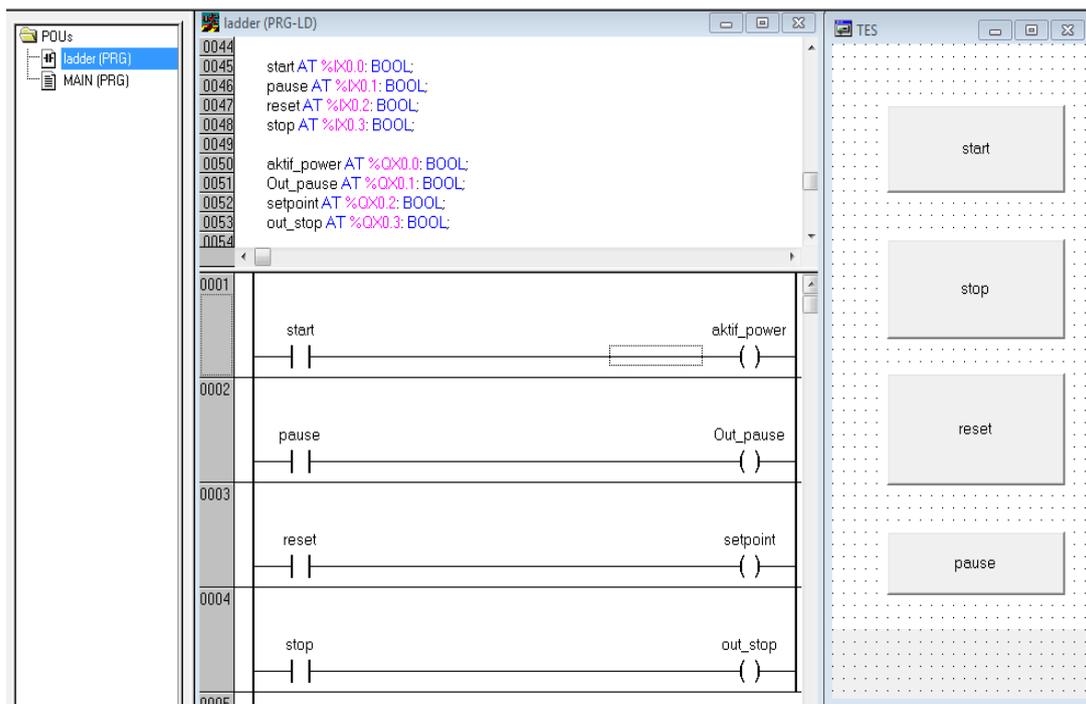
Gambar 4. 22 Diagram Alir Program Mesin CNC Pembengkok Kawat

1. Instruksi Tombol

Tabel 4. 1 Instruksi Tombol

Input	Alamat
Start	start AT %IX0.0: BOOL;
Pause	pause AT %IX0.1: BOOL;
Reset	reset AT %IX0.2: BOOL;
Stop	stop AT %IX0.3: BOOL;
Output	Alamat
aktif_power	aktif_power AT %QX0.0: BOOL;
Out_pause	Out_pause AT %QX0.1: BOOL;
Setpoint	setpoint AT %QX0.2: BOOL;
out_stop	out_stop AT %QX0.3: BOOL;

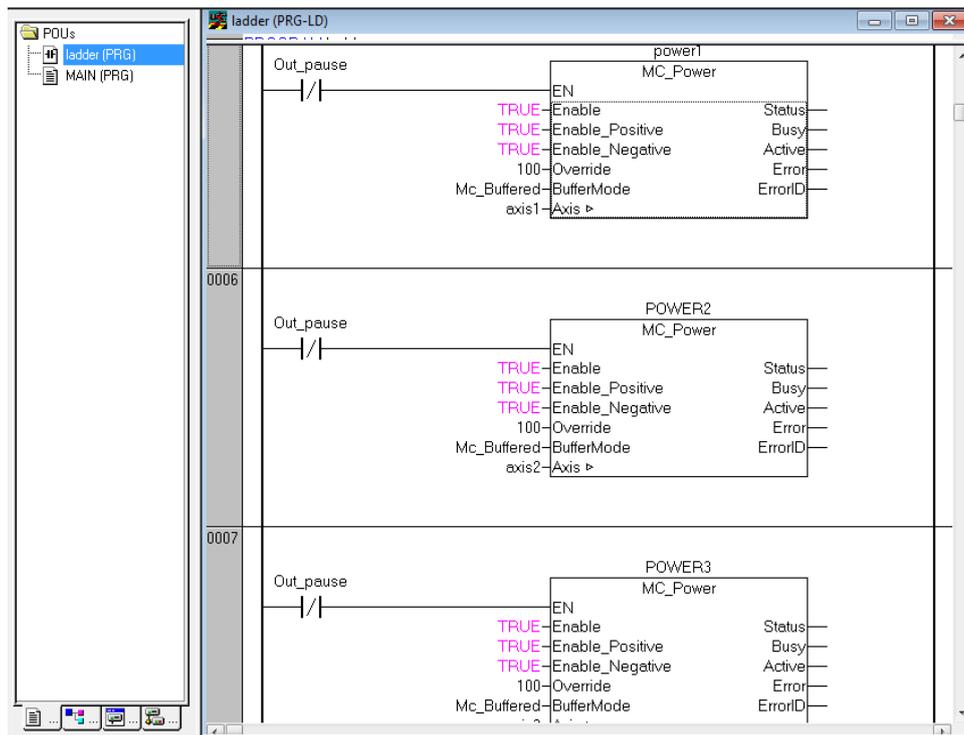
Tabel diatas merupakan instruksi/program untuk komunikasi tombol ke program ladder sehingga tombol berfungsi.



Gambar 4. 23 Instruksi Tombol pada Program PLC

2. Instruksi MC_Power

Block MC_Power berfungsi untuk mengaktifkan sumbu/*axis*, pada kasus ini sumbu dimaksudkan pada perangkat aktuator yang digunakan yaitu motor servo DC. Block Mc_Power dapat dilihat pada Gambar 4.23.

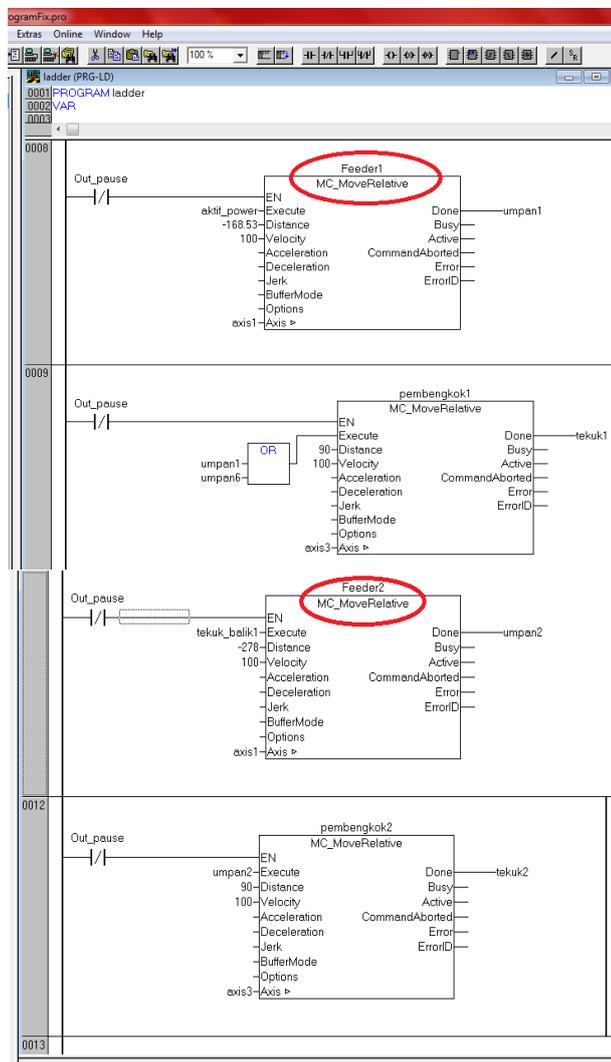


Gambar 4. 24 Block MC_Power

3. Instruksi Pengumpan

Pada instruksi pengumpan menggunakan block MC-MoveRelative guna mempermudah memberikan nilai masukan pada pengontrolan jarak (*distance*) dan kecepatan (*velocity*). Pada instruksi ini terdapat 2 kelompok perintah yaitu untuk begel ukuran 100x100 mm dan begel ukuran 120x120 mm. Instruksi perintah ini dapat dilihat pada gambar 4.24. Berikut nilai *input* program pada *block diagram* :

- Program 1 block MC_MoveRelative diberikan nilai *distance* 168,53° nilai ini untuk gerakan sepanjang 70,6 mm, *distance* 238,47° nilai ini untuk gerakan sepanjang 90,6 mm dan *velocity* 100 pada axis 1.
- Program 2 block MC_MoveRelative diberikan nilai *distance* 168,53° nilai ini untuk gerakan sepanjang 70,6 mm, *distance* 278,02° nilai ini untuk gerakan sepanjang 116,6 mm dan *velocity* 100 pada axis 1.



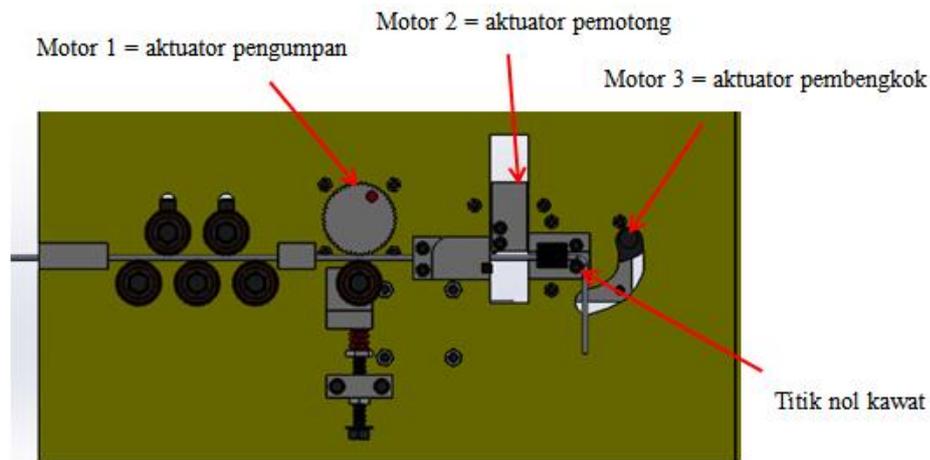
Gambar 4. 25 Instruksi Pengumpan

4.3 Langkah-Langkah Proses Pengoperasian Mesin

Langkah-langkah untuk menjalankan/mengoperasikan mesin CNC pembuat begel adalah :

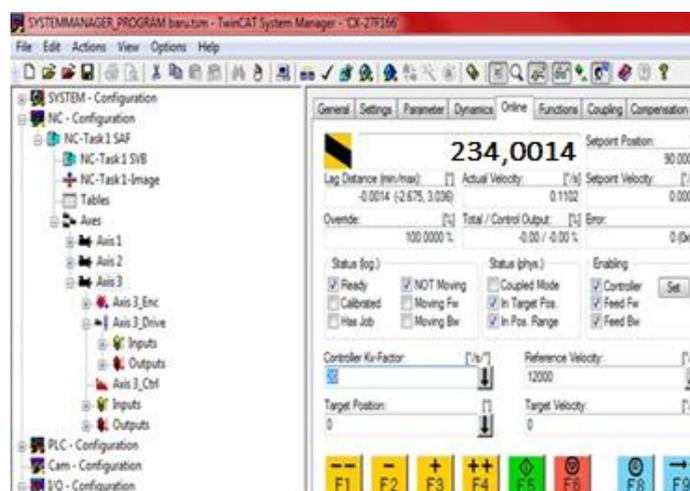
1. Masukkan kawat hingga mencapai titik nol.
2. Tekan tombol start maka motor 1 aktif mengumpan dengan jarak $168,53^\circ$ artinya gerak linier 70,6 mm.
3. Setelah motor 1 berhenti maka motor 3 aktif dengan instruksi penekuk sebesar 96° dan kembali ke titik awal -96° .
4. Setelah motor 3 berhenti maka motor 1 aktif mengumpan dengan jarak $230,7^\circ$ artinya gerak linier 96,6 mm.
5. Setelah motor 1 berhenti maka motor 3 aktif dengan instruksi penekuk sebesar 96° dan kembali ke titik awal -96° .
6. Proses no 4 dan 5 berlangsung 3 kali.

7. Setelah proses penekuk motor 3 bergerak -96° selesai beroperasi, maka motor 2 aktif dengan perintah memotong kawat.
8. Setelah instruksi pengumpan 6 selesai beroperasi maka proses akan kembali ke pada proses penekuk 1. Siklus akan berhenti apabila siklus di stop.
9. Apabila instruksi stop diaktifkan maka mesin akan berhenti kemudian tekan reset untuk proses set ulang jarak ke titik nol.
10. Jika sudah ke titik nol maka tekan tombol start untuk kembali menjalankan mesin.



Gambar 4. 26 Mekanisme Kerja Mesin

4.4 Monitoring pada Proses Pengumpan



Gambar 4. 27 Monitoring pada Proses Pengumpan

Pada Gambar 4.26 terlihat bawah pada *Setpoint Position* menunjukkan nilai 234.0014, itu menunjukkan bahwa motor telah berputar dengan jarak 234°

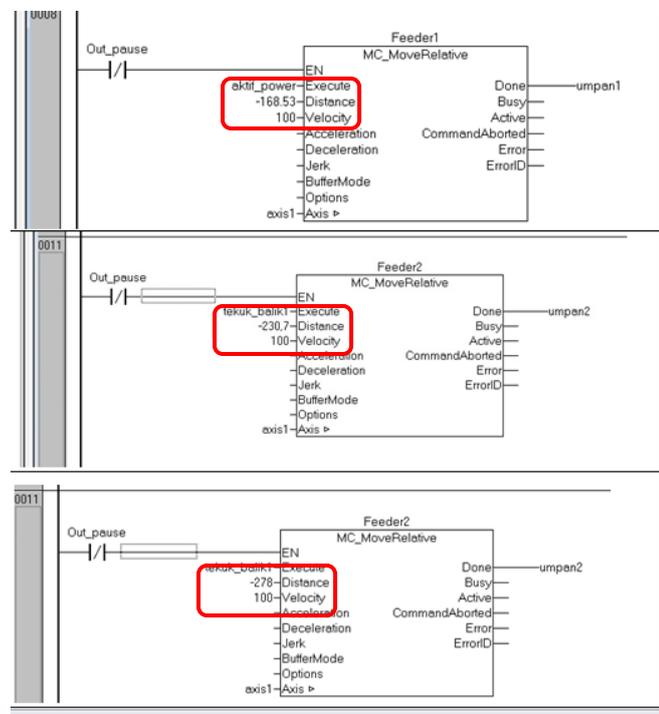
di *input* pada *function block diagram* Pada jendela *monitoring* ini juga dapat terlihat parameter *Kv-factor* dan *reference velocity* serta terdapat pembacaan aktual pada proses berputarnya motor.

4.5 Hasil Pengujian

4.5.1 Pengujian Pengumpanan

Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai pengumpanan aktual berdasarkan parameter yang diberikan. *Output* nilai pengumpanan 1 yang diinginkan 96,6 mm setelah dibengkokkan menjadi 100 mm dan *otuput* nilai pengumpanan 2 yang diinginkan 116,6 mm setelah dibengkokkan menjadi 120 mm hasil pengumpanan diperoleh dari putaran *pulley* pengumpan. Putaran ini diatur melalui program berdasarkan *input* nilai sudut dan pendekatan mekanis sehingga nilai *output* dapat sesuai dengan yang diinginkan.

➤ Parameter pada program



Gambar 4. 28 Parameter Input Distance pada Program

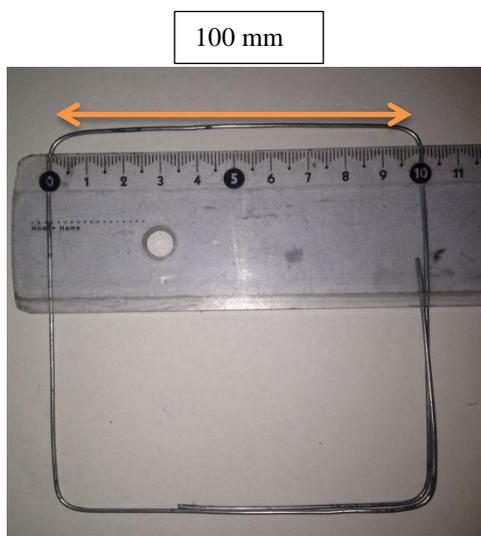
Berikut adalah hasil pengujian cincin begel ukuran 100x100 mm yaitu menguji pengaruh besar sudut pembengkokkan terhadap panjang sisi cincin begel. Data nilai parameter *input* sudut pembengkokkan sebesar 90° dan 96° diperoleh dari penelitian “Perancangan Sistem Penekuk pada Simulator Mesin CNC Pembuat Begel” (Habiburohman, 2017).

Tabel 4. 2 Pengujian Pengumpanan dengan Penekukan Sudut 90°

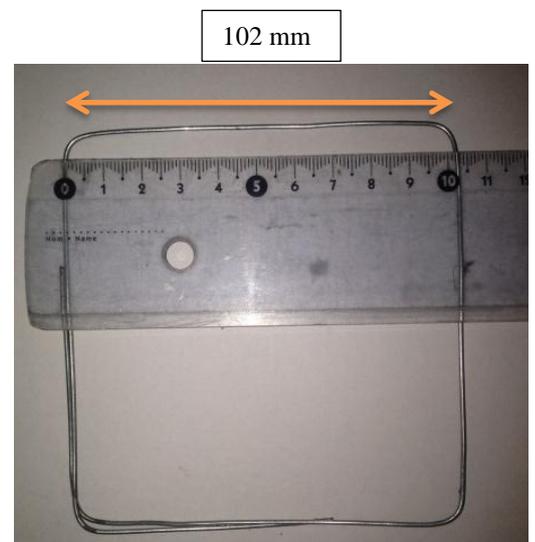
Cincin Begel	Panjang Kawat Begel Tiap Sisi (mm)					
	Sisi 1	Sisi 2	Sisi 3	Sisi 4	Sisi 5	Sisi 6
1	67	102	102	102	102	67
2	67	102	102	103	102	70
3	67	102	102	102	101	67
4	67	102	104	102	102	67
5	67	102	102	102	103	70
Rata-rata	67	102	102.4	102.2	102	68.2
\bar{L}	$\frac{sisi\ 2+sisi3+sisi4\ sisi5}{4} = 102.15$					

Tabel 4. 3 Pengujian Pengumpanan dengan Penekukan Sudut 96°

Cincin Begel	Panjang Kawat Begel Tiap Sisi (mm)					
	Sisi 1	Sisi 2	Sisi 3	Sisi 4	Sisi 5	Sisi 6
1	67	100	100	100	100	67
2	67	100	101	100	100	67
3	67	100	100	100	101	68
4	67	100	100	100	100	67
5	68	101	100	100	101	67
Rata-rata	67,2	100,2	100,2	100	100,4	67,2
\bar{L}	$\frac{sisi\ 2+sisi3+sisi4\ sisi5}{4} = 100,2$					



Gambar 3. 22 Hasil Pengujian 96°



Gambar 3. 21 Hasil Pengujian 90°

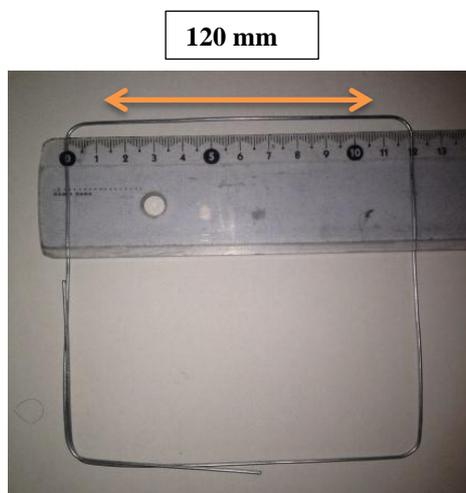
Berikut adalah hasil pengujian cincin begel ukuran 120x120mm yaitu menguji pengaruh besar sudut pembengkokan terhadap panjang sisi cincin begel .

Tabel 4. 4 Pengujian Pengumpanan dengan Penekukan Sudut 90°

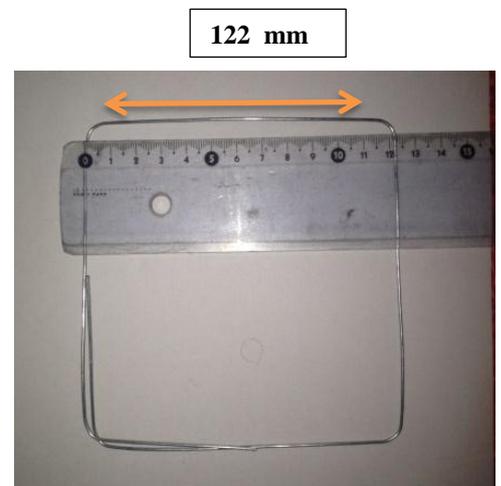
Cincin Begel	Panjang Kawat Begel Tiap Sisi (mm)					
	Sisi 1	Sisi 2	Sisi 3	Sisi 4	Sisi 5	Sisi 6
1	67	122	122	122	120	67
2	67	122	120	120	122	70
3	67	122	120	120	120	67
4	67	122	120	121	120	67
5	67	122	120	120	121	70
Rata-rata	67	122	120,4	120,6	120,6	68,2
\bar{L}	$\frac{sisi\ 2+sisi3+sisi4\ sisi5}{4}=120,9$					

Tabel 4. 5 Pengujian Pengumpanan dengan Penekukan Sudut 96°

Cincin Begel	Panjang Kawat Begel Tiap Sisi (mm)					
	Sisi 1	Sisi 2	Sisi 3	Sisi 4	Sisi 5	Sisi 6
1	67	120	120	122	120	67
2	67	120	120	120	121	70
3	67	120	120	120	120	67
4	67	121	120	121	120	67
5	67	120	120	120	120	70
Rata-rata	67	120,2	120	120,6	120,2	68,7
\bar{L}	$\frac{sisi\ 2+sisi3+sisi4\ sisi5}{4}=120,25$					



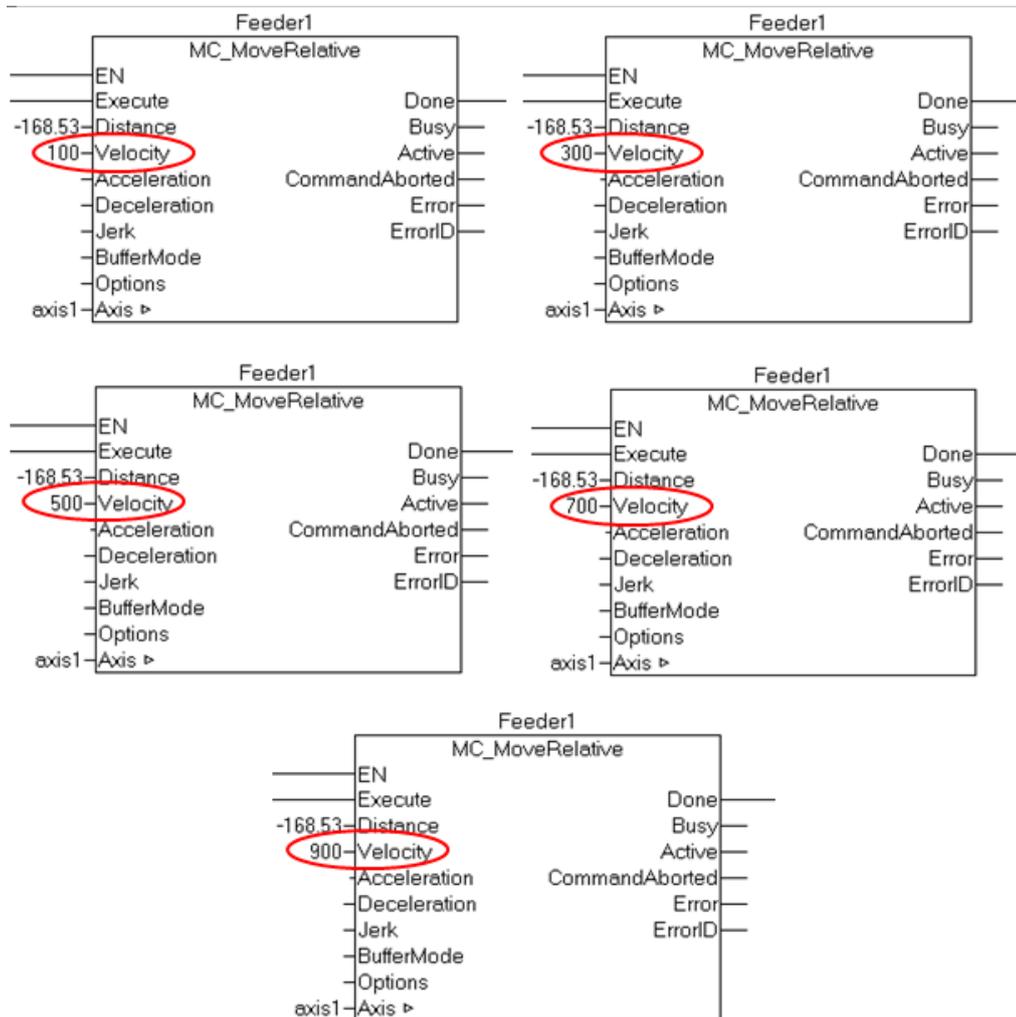
Gambar 3. 24 Hasil Pengujian 96°



Gambar 3. 23 Hasil Pengujian 90°

4.5.2 Pengujian Kecepatan Kerja Alat

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kecepatan produksi alat dalam satu siklus pengerjaan. Satu siklus disini dianggap dengan 1 kali waktu dalam pembuatan 1 begel. Kecepatan dapat diatur berdasarkan masukkan nilai parameter kecepatan pada program. Parameter *input* kecepatan pada program dapat dilihat pada Gambar 4.28.



Gambar 4. 29 Parameter Input Velocity pada Program

Berikut adalah hasil pengujian kecepatan yang dilakukan parameter nilai *velocity* sebagai *input* pada *function block diagram* dan waktu adalah *output* yang dihasilkan. Nilai *velocity* dan waktu produksi dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Perubahan Velocity Terhadap Waktu

Velocity (°/second)	Waktu Produksi 1 Begel (s)
100	40.22
300	22.57
500	17.36
700	14.85
900	12.23

Hasilnya kecepatan maksimal yang diperoleh sebesar 900°/s dan jika diinput nilai lebih besar motor tidak beroperasi dikarenakan keterbatasan nilai parameter yang diperoleh pada perangkat lunak *Twincat*, sehingga disimpulkan diperlukan penelitian parameter kendali PID yang baru untuk memperoleh parameter yang dapat mengatur kecepatan melebihi nilai tersebut.

4.6. Kendala dan Solusi

3.3.2 Kendala

1. Pada unit pengumpan sering terjadi selip dikarenakan *pulley* yang kurang silindris.
2. Terdapat banyak rangkaian kabel untuk komunikasi embeded *cx 5010* dan I/O (*input/output*) dengan *socket* yang kecil.
3. Koneksi *embeded cx 5010* dan PC sulit dilakukan.
4. Pada unit pelurus dapat berpengaruh terhadap terjadinya selip apabila pengaturannya tidak sesuai karena beban pelurusan yang besar.
5. Jarak antara pemotongan dengan titik tumpuan nilainya yaitu 62 mm.
6. Waktu tercepat produksi 1 begel /12,23 detik pada kecepatan 900 °/s, jika diberi nilai input kecepatan lebih dari 900 °/s maka motor tidak beroperasi.
7. Banyak yang belum diketahui terkait perhitungan parameter setting motor pada program *Twincat*.

4.6.2 Solusi

1. Diberikan *adjustment* pada *pulley* pengumpan bagian bawah agar tekanan dan gesekan cukup sehingga pengumpanan dapat sesuai *input* program

2. Pada rangkaian kabel digunakan beberapa warna untuk pembeda sehingga tidak terjadi kesalahan penyambungan dan diperlukan ketelitian dalam penyambungan.
3. Diperlukan *setting ip* untuk koneksi *embeded cx 5010* dengan PC.
4. Diatur dengan keketaan yang cukup agar kawat dapat berjalan dengan lancar dan tidak terjadi selip
5. Harus dilakukan kajian desain ulang.
6. Harus dilakukan kajian lebih mendalam untuk parameter pengontrolan motor pada program *Twincat*.
7. Harus diperbaiki lagi sistem/komponen pengumpanannya agar tidak terjadi selip.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Mesin simulasi CNC pembuat begel telah berhasil dirancang dan dibuat.
2. Sistem pengumpan mampu mengumpan 2 variasi ukuran yaitu begel 1 sebesar 70,6 mm; 96,6 mm serta begel 2 sebesar 70,6 mm; 116,6 mm.
3. Mesin simulasi CNC begel mampu membuat purwarupa begel berbentuk segiempat dengan diameter kawat 1 mm ukuran begel 100 x 100 mm dan 120 x 120 mm. Serta kecepatan maksimal dalam program 900°/s dan kapasitas produksi sebesar 1 begel/12,23 detik.

5.2 Saran

1. Untuk perancangan berikutnya, dapat menambah LCD dengan *interface* yang sederhana agar pengoperasian lebih mudah.
2. Dikaji lebih dalam lagi mengenai perangkat lunak *TwinCAT* untuk penggunaan parameter-parameter pengontrol motornya.

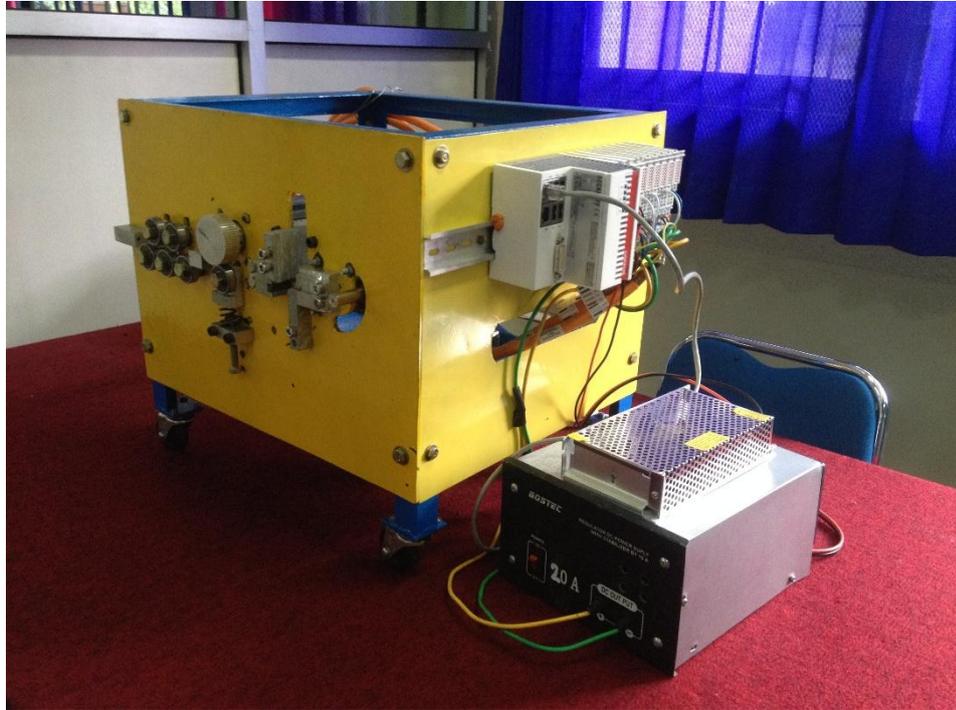
DAFTAR PUSTAKA

- Adi, A. N. (2010). *MEKATRONIKA*. Yogyakarta: GRAHA ILMU.
- Anton. (2012, September 6). *CAD (Computer Aided Design)*. Dipetik November 12, 2017, dari <http://teknik-manufaktur.blogspot.co.id>: <http://teknik-manufaktur.blogspot.co.id/2012/09/cad-computer-aided-design.html>
- Ardiansyah, R. (2010, Juni 23). "*Begel*" *Penahan Geser Yang Tak Bisa Disepelekan*. Dipetik November 10, 2017, dari ronymedia.wordpress.com: <https://ronymedia.wordpress.com>
- Beckhoff. (2015). *New Automation Technology*. Dipetik November 2, 2017, dari www.Beckhoff.com: <https://www.beckhoff.com/>
- Beckhoff. (2015). *New Automation Technology*. Dipetik November 2, 2017, dari www.beckhoff.com: <https://www.beckhoff.com/>
- Beckhoff. (2016). *EL2008 | 8-channel digital output terminal 24 V DC, 0.5 A*. Dipetik 8 5, 2017, dari www.beckhoff.com: www.beckhoff.com/building
- Beckhoff. (2017). *AM81xx | Synchronous Servomotors for compact drive technology*. Dipetik 8 6, 2017, dari www.beckhoff.com: www.beckhoff.com/building
- Beckhoff. (2017). *CX5010 | Embedded PC with Intel® Atom™ processor*. Dipetik 6 2, 2017, dari www.beckhoff.com: <https://www.beckhoff.com/>
- Beckhoff. (2017). *EL1008 | 8-channel digital input terminal 24 V DC, 3 ms*. Dipetik 8 4, 2017, dari www.beckhoff.com: www.beckhoff.com/building
- BECKHOFF. (2017, 12 12). *TwinCat - PLC and Motion Control on the PC*. Diambil kembali dari www.beckhoff.com: <https://www.beckhoff.com/>
- Bolton, W. (2006). *Programmable Logic Controll*.
- Dahlan, D. (2012). *ELEMEN MESIN*. Jakarta: Citra Harta Prima.
- Darmanto, T. (2014, 4). *Pengertian Prinsip Kerja Motor Servo*. Dipetik Agustus 2, 2017, dari <http://trikueni-desain-sistem.blogspot.co.id>: <http://trikueni-desain-sistem.blogspot.co.id/2014/03/Pengertian-Motor-Servo.html>
- Dwijaya, P. (t.thn.). *Kegunaan dan Ukuran Besi Begel*. Diambil kembali dari [Jual Besi Begel & Kolom – Distributor & Supplier Murah Harga Pabrik](http://pramanadwijaya.com): <http://pramanadwijaya.com/produk/besi-beton/begel-kolom/>

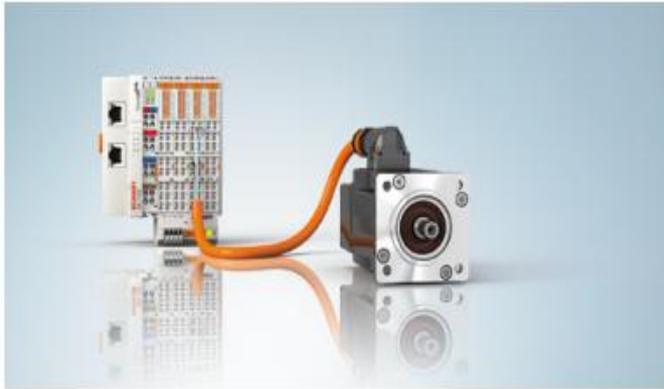
- Habiburohman. (2017). Perancangan Sistem Penekuk pada Simulator Mesin CNC Pembuat Begel. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Husanto, & Thomas. (2005). *PLC (Programmable Logic Control) FB Sigma*. Yogyakarta: ANDI.
- Kurniawan, S. (2013, November 20). *Macam-macam Mesin Bending Plat*. Dipetik November 12, 2017, dari Mesin Fabrikasi Logam: <http://mesinfabrikasi.blogspot.co.id/>
- Kurniawan, S. (t.thn.). *Macam-macam Mesin Bending Plat*. Diambil kembali dari Mesin .
- Munandar, A. (t.thn.). Diambil kembali dari Mesin Begel Otomatis: <http://mesinbegel.com/>
- Putranto dkk, A. (2008). *Teknik Otomasi Industri*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Departemen Pendidikan Nasional.
- Pambudi. (2016). CAD (Computer Aided Design).
- Patel, S. (2011). Review On Innovation Of Wire Straightening Cutting Machine. *Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, 1-15.
- Pratiwi, D. (2016). Rancang Bangun Mesin Bending otomatis untuk Begel Diameter 8mm. PALEMBANG: <http://eprints.polsri.ac.id>
- Rio. (2016). Software CAD. *Software Solidwork*.
- Schey, P. (2002). Metal Forming Science and Practice. Dalam G. L. John, *Friction, Lubrication and Surface Response in Wire Drawing* (hal. 297-310). Oxford: Elsevier Science Ltd.
- Suchy, I. (2006). *Handbook of Die Design, Second Edition*. NewYorkChicago, San Francisco, Lisbon, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, San Juan, Seoul, Singapore, Sydney, Toronto: McGRAW-HILL.
- Surya, S. (2014, 9 8). *Feeder, Alat Pengantar dan Penggerak Benda Kerja*. Dipetik november 17, 2017, dari silsurya.blog.uns.ac.id: <http://silsurya.blog.uns.ac.id/2014/09/08/feeder-alat-pengantar-dan-penggerak-benda-kerja>
- Weber, A., Siahaan, E., & Sobron YL. (2014). Analisis Simpangan Wire Straightening and Cutting Machine pada Proses Wire Straightening. *Jurusan Teknik Mesin Universitas Tarumanegara*, 1-10.

LAMPIRAN

Gambar Alat Yang Telah Dibuat



Spesifikasi Motor Servo DC AM8122 Beckhoff



AM8122 | Servomotor 0.8 Nm (standstill torque)

Data for 50 V DC	AM8122-wFyz	AM8122-wJyz
Standstill torque	0.80 Nm	
Rated torque	0.80 Nm	0.71 Nm
Rated speed	2000 min ⁻¹	4500 min ⁻¹
Rated power	0.17 KW	0.34 KW
Peak torque	4 Nm	
Standstill current	4.0 A	8.0 A
Peak current	22.4 A	
Torque constant	0.20 Nm/A	
Voltage constant	13 mV/min ⁻¹	
Number of poles	6	
Rotor moment of inertia	0.253 kgcm ²	
Weight	1.6 kg	
EtherCAT Terminal	EL7211-0010	EL7221-9014
EtherCAT plug-in module	EJ7211-0010	

Program PLC Beckhoff

