

**SISTEM PENGENDALIAN KECEPATAN TURUNNYA BAHAN
JENIS *ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE* (ABS) PADA
EXTRUDER PRINTER 3D MENGGUNAKAN KONTROL PID**

**SKRIPSI
TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK KONTROL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**CALVIN DORO GIOVANNI
NIM. 115060300111051**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2016**

LEMBAR PENGESAHAN

SISTEM PENGENDALIAN KECEPATAN TURUNNYA BAHAN JENIS *ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE* (ABS) PADA *EXTRUDER PRINTER 3D* MENGGUNAKAN KONTROL PID

SKRIPSI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

CALVIN DORO GIOVANNI
NIM. 115060300111051

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada
tanggal 15 Agustus 2016

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Bambang Siswojo, M.T.
NIP. 19621211 198802 1 001

Ir. Purwanto, M.T.
NIP. 19540424 198601 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Muhammad Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19741203 200012 1 001

JUDUL SKRIPSI:

SISTEM PENGENDALIAN KECEPATAN TURUNNYA BAHAN JENIS
ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE (ABS) PADA *EXTRUDER PRINTER*
3D MENGGUNAKAN KONTROL PID

Nama Mahasiswa : Calvin Doro Giovanni

NIM : 115060300111051

Program Studi : Teknik Elektro

Konsentrasi : Teknik Kontrol

Komisi Pembimbing :

Ketua : Dr. Ir. Bambang Siswojo, M.T.

Anggota : Ir. Purwanto, M.T.

TIM PENGUJI DOSEN :

Dosen Penguji 1 : Ir. Retnowati , M.T.

Dosen Penguji 2 : M. Aziz Muslim, S.T.,M.T.,Ph.D.

Dosen Penguji 3 : Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, M.T.

Tanggal Ujian : 9 Agustus 2016

SK Penguji : 974/UN10.6/SK/2016

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 11 Agustus 2016

Mahasiswa,

CALVIN DORO GIOVANNI

NIM. 115060300111051



PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas penyetaan, bimbingan, dan kuasa-Nya sehingga penulisan skripsi dengan judul “Sistem Pengendalian Kecepatan Turunny Bahan Jenis *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) Pada *Extruder Printer* 3D Menggunakan Kontroler PID” dapat diselesaikan dengan baik dan tepat pada waktunya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar – besarnya kepada:

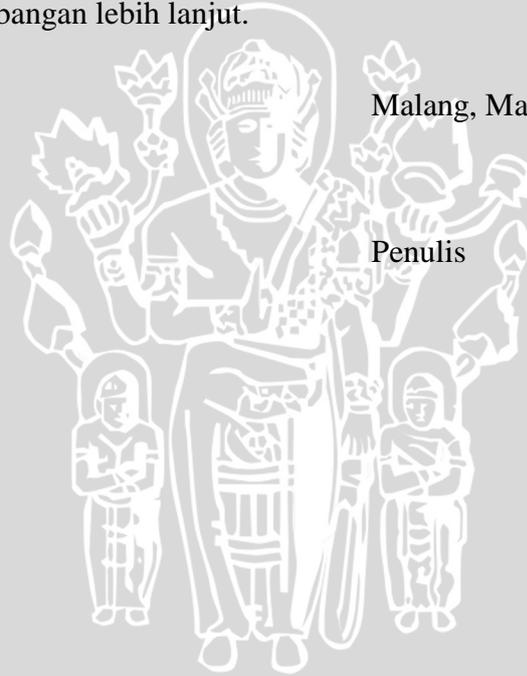
- Kedua orang tua Edi Sukanto Istri Nengah Suwartini, kakak Christopher Imantaka adik Samuel Dian Permana Putra dan Harfina Aulya Astrini telah banyak memberikan doa, kasih sayang, dukungan, serta semangat.
- Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
- Bapak Dr. Ir. Bambang siswojo, M.T. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan banyak waktu dan tenaganya untuk membimbing dari awal, memberikan saran, nasehat-nasehat, dan pelajaran.
- Bapak Ir. Purwanto, M.T. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Kontrol Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan banyak waktu dan tenaganya untuk membimbing dari awal, memberikan saran, nasehat-nasehat, dan pelajaran.
- Bapak Hadi Suyono S.T., M.T., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Bapak M. Ali Mustofa, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang banyak memberikan pengarahan dalam hal akademik dan penulisan skripsi.
- Ibu Dr-Ing. Onny Setyawati, S.T., M.T., M.Sc. Selaku dosen penasehat akademik. Yang telah banyak memberikan nasihat-nasihat akademiknya.
- Bapak, Ibu dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
- Saudara-saudara Inverter 2011, KMK Teknik, dan semua rekan-rekan di Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

- Seluruh rekan-rekan asisten Laboratorium Sistem Kontrol yang telah memfasilitasi penelitian ini.
- Keluargaku Deworengku. Terima kasih semuanya.
- Terima kasih untuk teman-teman yang selalu membantu ada Fakhur Rozi, Alra Ramahdan, Sukma Rangga, Doni, Ganda Lesmana, Intanto, Ababil, dan Sahabatku Johannes Reinhart Pandang, serta semua pihak yang tidak mungkin dicantumkan namanya satu persatu telah memberikan bantuan serta dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini belumlah sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala – kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis berharap kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang, semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Malang, Maret 2016

Penulis

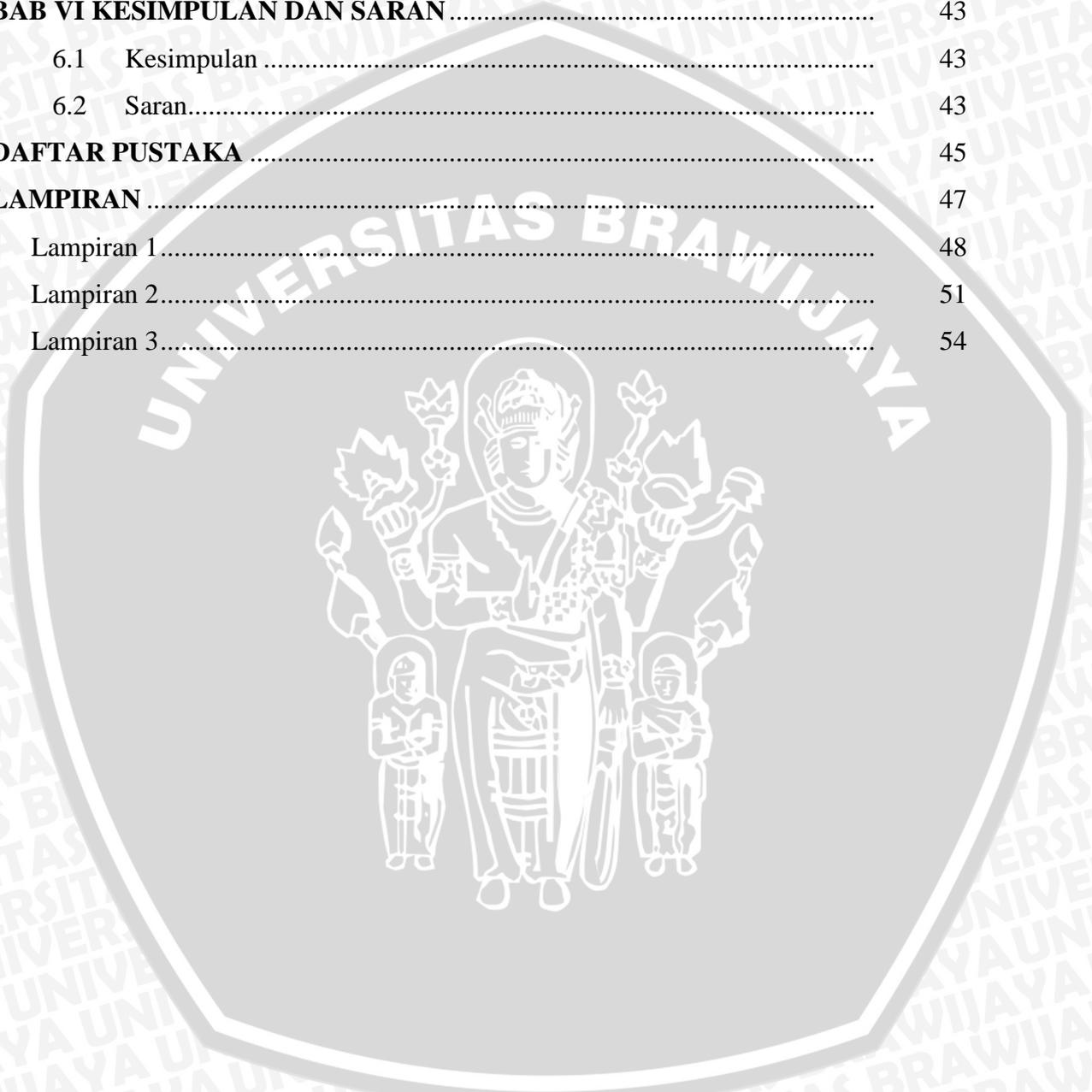


DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Printer 3D</i>	5
2.2 <i>Extruder</i>	5
2.3 <i>ABS (Accrylonitrile Butadiene Styrene)</i>	6
2.4 <i>Motor DC</i>	6
2.5 <i>Arduino Uno</i>	7
2.5.1 <i>Daya</i>	8
2.5.2 <i>Memori</i>	9
2.5.3 <i>Input dan Output</i>	9
2.5.4 <i>Komunikasi</i>	9
2.6 <i>Driver EMS 5A H-Bridge</i>	10
2.7 <i>Sensor Rotary Encoder</i>	11
2.8 <i>Kontroler</i>	12
2.8.1 <i>Kontroler Proporsional (P)</i>	12
2.8.2 <i>Kontroler Integral (I)</i>	13
2.8.3 <i>Kontroler Differensial (D)</i>	13
2.8.4 <i>Kontroler Proporsional Integral Differensial (PID)</i>	14
2.9 <i>Ziegler-Nichols</i>	14
2.9.1 <i>Metode Pertama</i>	15
2.10.1 <i>Metode Kedua</i>	16

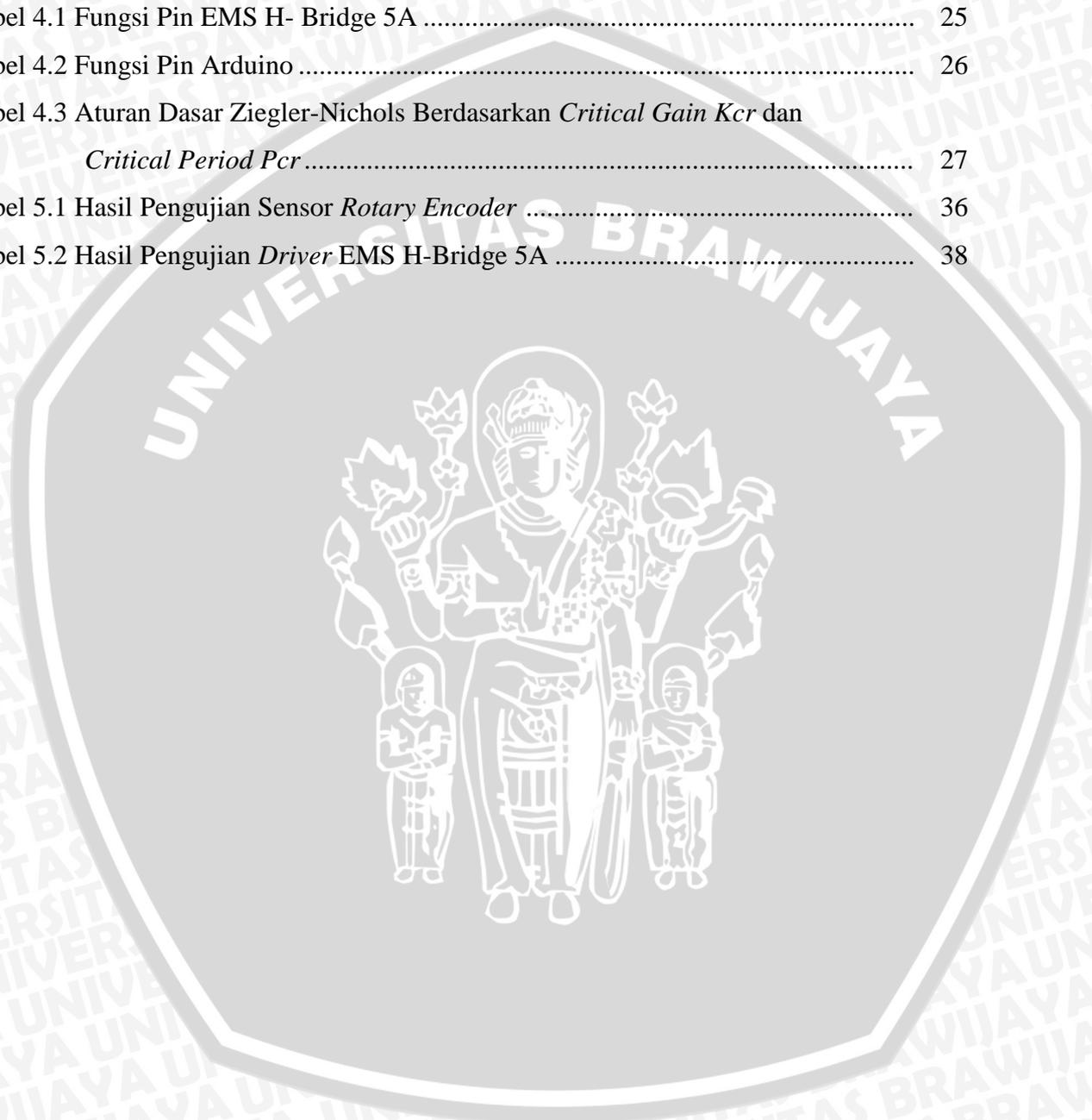
2.10	Diskritisasi	18
BAB III METODE PENELITIAN		19
3.1	Penentuan Spesifikasi Alat	19
3.2	Percanaan Sistem.....	19
3.3	Realisasi Pembuatan Sistem	19
3.4	Pengujian Sistem	20
3.5	Pengambilan Kesimpulan	20
BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT		21
4.1	Perancangan Sistem	21
4.2	Diagram Blok Sistem.....	21
4.3	Spesifikasi Alat.....	22
4.4	Prinsip Kerja Sistem	22
4.5	Perancangan Perangkat Keras.....	23
4.5.1	Perancangan <i>Extruder Set</i>	23
4.5.2	<i>Driver EMS 5A H-Bridge</i>	24
4.5.3	Konfigurasi I/O Arduino	26
4.6	Perancangan Algoritma Kontroler PID	26
4.7	Perancangan Perangkat Lunak.....	30
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS		33
5.1	Pengujian Catu Daya	33
5.1.1	Peralatan Pengujian	33
5.1.2	Prosedur Pengujian.....	33
5.1.3	Hasil Pengujian	34
5.2	Pengujian Sensor Kecepatan <i>Rotary Encoder</i>	35
5.2.1	Peralatan Pengujian	35
5.2.2	Prosedur Pengujian.....	35
5.2.3	Hasil Pengujian	35
5.3	Pengujian <i>Driver EMS H-Bridge 5A</i>	37
5.3.1	Peralatan Pengujian	37
5.3.2	Prosedur Pengujian.....	38
5.3.3	Hasil Pengujian	38
5.4	Pengujian Tanpa Kontroler.....	39
5.4.1	Peralatan Pengujian	39
5.4.2	Prosedur Pengujian.....	40

5.4.3	Hasil Pengujian.....	40
5.5	Pengujian Keseluruhan Sistem.....	40
5.5.1	Peralatan Pengujian	40
5.5.2	Prosedur Pengujian.....	41
5.5.3	Hasil Pengujian.....	41
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		43
6.1	Kesimpulan	43
6.2	Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA		45
LAMPIRAN		47
Lampiran 1	48
Lampiran 2	51
Lampiran 3	54



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Aturan Penalaan Ziegler-Nichols Berdasarka Respon Unit Step dari Plan	16
Tabel 2.2 Aturan Dasar Ziegler-Nichols Berdasarkan <i>Critical Gain Kcr</i> dan <i>Critical Period Pcr</i>	17
Tabel 4.1 Fungsi Pin EMS H- Bridge 5A	25
Tabel 4.2 Fungsi Pin Arduino	26
Tabel 4.3 Aturan Dasar Ziegler-Nichols Berdasarkan <i>Critical Gain Kcr</i> dan <i>Critical Period Pcr</i>	27
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Sensor <i>Rotary Encoder</i>	36
Tabel 5.2 Hasil Pengujian <i>Driver</i> EMS H-Bridge 5A	38



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bahan Masuk di <i>Extruder</i>	5
Gambar 2.2 <i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i> (ABS).....	6
Gambar 2.3 Sinyal PWM	7
Gambar 2.4 Arduino UNO	8
Gambar 2.5 Tata Letak Komponen EMS H-Bridge 5A.....	11
Gambar 2.6 Sensor <i>Rotary Encoder</i>	11
Gambar 2.7 Diagram Blok Kontroler Proporsional.....	12
Gambar 2.8 Diagram Blok Kontroler Integral.....	13
Gambar 2.9 Diagram Blok Kontroler Differensial.....	13
Gambar 2.10 Diagram Blok Kontroler PID.....	14
Gambar 2.11 Kurva Respon Unit Step yang Menunjukkan 25% <i>Maximum Overshoot</i> ...	14
Gambar 2.12 Respon Plant Terhadap Masukan berupa Unit Step	15
Gambar 2.13 Kurva Respon yang Berbentuk S.....	15
Gambar 2.14 Sistem Loop Tertutup dengan Kontroler Proporsional.....	16
Gambar 2.15 Osilasi Berkesinambungan dengan Periode <i>Pcr</i>	16
Gambar 2.16 Metode Konversi	17
Gambar 4.1 Diagram Blok Sistem.....	21
Gambar 4.2 Skema Perancangan <i>Extruder Printer 3D</i>	22
Gambar 4.3 Sistem <i>Extruder Set</i>	23
Gambar 4.4 Skematik Rangkaian Driver EMS H-Bridge 5A	25
Gambar 4.5 Osilasi Berkesinambungan dengan Periode <i>Pcr</i>	27
Gambar 4.6 Grafik Output Plan.....	28
Gambar 4.7 <i>Flowchart</i> Perangkat Lunak Sistem.....	30
Gambar 5.1 Pengujian Tengan Catu Daya	34
Gambar 5.3 Grafik Perbandingan RPM Terhadap PWM.....	37
Gambar 5.4 Grafik Tegangan Keluaran Driver terhadap PWM.....	39
Gambar 5.5 Grafik Kecepatan Terhadap Waktu	40
Gambar 5.6 Grafik <i>Ouput Plant</i> dengan <i>Setpoint</i> 2 cm/s Tanpa Gangguan.....	41
Gambar 5.7 Grafik <i>Output Plant Setpoint</i> 2 cm/s dengan Gangguan	42

RINGKASAN

Calvin Doro Giovanni, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Maret 2016, *Sistem Pengendalian Kecepatan Turunnya Bahan Jenis Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) pada Extruder Printer 3D Menggunakan kontrol PID*, Dosen Pembimbing: Bambang Siswojo dan Purwanto.

Dengan kemajuan teknologi telah ada *printer 3d*. Dengan *printer 3d* seseorang dapat membuat miniatur - miniaturan seperti mobil - mobilan dan lain- lain. Hasil dari pencetakan tersebut memiliki volume dalam bentuk padat yang bisa di sentuh. Cara kerja dari *printer 3d* tersebut yaitu bahan akan turun pada komponen alat yang terdapat dalam *printer 3d* yaitu *extruder*. Setelah bahan tersebut turun kemudian akan dilelehkan melalui *heater*. Dari bahan yang sudah meleleh, hasil dari lelehan akan dikeluarkan oleh *nozzle*. Setelah itu terdapat *printbed* yang fungsinya untuk sebagai tempat penampungan bahan yang telah dikeluarkan oleh *nozzle* dan kemudian dilakukan *sinetering*.

Dari penjelasan diatas permasalahan yang muncul adalah pengendalian kecepatan turunnya bahan yang masuk pada *extruder*. Kecepatan bahan yang akan turun harus sesuai dengan jenis bahannya. Jenis bahan yang digunakan adalah jenis plastik ABS. bahan ABS tersebut memiliki ketentuan bergerak turun 2cm/s yang melalui *extruder*. Bahan tersebut jika bergerak turun kurang atau lebih dari 2cm/s akan mempengaruhi hasil pencetakan. Yang dimana hasilnya bisa terlalu cair atau tidak merata. Karena tipe-tipe bahan (filament) pada *printer 3D* mempunyai karakter yang berbeda beda dari kecepatannya untuk turun dan suhu untuk melelehkannya. Sehingga dibutuhkan pengendalian kecepatan turunnya bahan pada *extruder* dengan kecepatan 2cm/s.

Pada proses pengendalian kecepatan turunnya bahan pada *extruder printer 3D* menggunakan kontroler PID. Metode yang digunakan untuk mendapatkan parameter PID menggunakan metode Ziegler – Nichols 2, sehingga didapatkan nilai $K_p = 3$ $K_i = 4.28$ $K_d = 0.525$.

Hasil pengujian dengan *setpoint* kecepatan 2cm/s diperoleh *error steady state* sebesar 1.91% dan *settling time* sebesar 2.6 detik. Dan saat diberi gangguan sistem juga mampu menjaga kecepatan yang sesuai dengan *setpoint*.

Kata kunci : *Printer 3D, ABS, Extruder, Kontroler PID, Ziegler-Nichols 2*

SUMMARY

Calvin Doro Giovanni, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, in March 2016, Descent Control System Speed On *Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)* Material Operating Extruder 3D Printer using PID control, Supervisor: Dan Siswojo Bambang Purwanto.

With the advancement of technology has no 3d printer . With a 3D printer one can make miniature - miniaturan like cars - toy and others. The results of the printing volume in a solid form which can be in touch . The workings of the 3D printer that will descend on the material contained in the equipment components , namely extruder 3D printer . After the material will then be melted down through the heater . Of the material had melted , the results of the melt will be ejected from the nozzle . After that there printed that functions as a shelter for material that has been ejected from the nozzle and then do sinetering.

From the above explanation emerging issues is controlling the speed of the fall of the ingredients that go to the extruder . Free materials will drop should match the type of material . This type of material used is a type of plastic ABS . The ABS material has a provision to move down 2cm / s through the extruder . Such materials when moving down more or less than 2cm / s will affect the printing results . Which is where the results can be too liquid or uneven . Because of the types of material (filament) on a 3D printer has a character that is different from kecepatanya to descend and the temperature to melt . So it takes control of the speed of the decline in the material in the extruder at a speed of 2 cm/ s.

On the descent speed control process in the extruder material 3D printers use a PID controller . The method used to obtain the PID parameters using Ziegler - Nichols 2 , to obtain the value of $K_p = 3$ $K_i = 4.28$ $K_d = 0.525$.

Results of testing with setpoint speed of 2 cm/s gained steady state error of 1.91 % and settling time of 2.6 seconds. And at the given system disorders are also able to maintain an appropriate speed to the setpoint .

Keywords: 3D printer, ABS, Extruder, PID controller, Ziegler-Nichols 2





BAB I PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Kontroler merupakan salah satu komponen sistem kontrol yang berfungsi mengolah sinyal umpan balik dan sinyal masukan acuan atau sinyal *error* menjadi sinyal kontrol (Ogata K., 1997). ada jenis – jenis kontroler yaitu kontroler logika fuzzy, kontroler dua posisi (*on-off*), kontroler proporsional, kontroler integral, kontroler diferensial, dan kontroler proporsional integral diferensial (PID). Kontrol PID sendiri memiliki peranan penting sebagai pengontrolan, agar dapat menghasilkan *output* sistem yang sesuai dengan sinyal masukan acuan.

Dengan kemajuan teknologi begitu maju pesat. Semakin hari barang elektronik di kehidupan manusia semakin bertambah dengan teknologi yang canggih, contohnya printer. Secara umum *printer* hanya digunakan untuk mencetak sebuah dokumen dari sebuah kertas yang di atur dari komputer ukuran kertas dan sejenisnya. Saat ini dengan berkembangnya kemajuan teknologi telah ada *printer* 3D. Dengan *printer* 3D seseorang dapat membuat miniatur – miniaturan seperti mobil-mobilan dan lain- lain yang telah dibuat desainnya di komputer sesuai keinginan kita.

Cara kerja secara umum dari *printer* 3D adalah bahan akan turun masuk di bagian komponen alat yang ada di dalam *printer* 3D yaitu *extruder* (sebagai tempat jalur masuknya bahan). Di dalam *printer* 3D Juga terdapat komponen yaitu *heater* yang digunakan untuk melelehkan bahan yang telah turun melalui *extruder*. Setelah bahan yang sudah dilelehkan pada *heater* kemudian hasil bahan yang telah dilelehkan akan dikeluarkan oleh *nozzle* dan langsung dilakukan *sintering* (memadatkan lelehan bahan) pada *printbed*. *Printbed* yaitu difungsikan sebagai tempat penampungan hasilnya bahan yang sudah dikeluarkan *nozzle*. Dan hasil dari pencetakan di printer 3D berupa objek padat yang tidak hanya dapat dilihat namun juga dapat dipegang. (Evans, Brians. 2012).

Bahan baku yang digunakan pada *printer* 3D seperti plastik, ada beberapa jenis plastik seperti ABS (Acrylonitrile Pigment Styrene), PLA. Setiap jenis masing - masing bahan memiliki ketentuan kecepatan turun pada *extruder* yang berbeda beda dan suhu yang berbeda-beda untuk melelehkannya. Contohnya seperti *acrylonitrile pigment styrene* (ABS) adalah bahan sejenis plastik memiliki banyak warna. Namun abs meleleh bila terkena suhu tinggi. Dan memiliki ketentuan kecepatan turun di *extruder* dengan kecepatan

2cm/s. Lebih atau kurang dari 2cm/s akan mempengaruhi pada hasil pencetakan yang lebih cair atau tidak merata.

Dari penjelasan diatas permasalahan yang muncul adalah bagaimana untuk mengendalikan Kecepatan turunnya bahan jenis ABS pada *extruder* sebesar 2cm/s. Dikarenakan jika turunnya bahan itu melebihi dari 2cm/s akan menghasilkan bahan yang terlalu cair sehingga dapat membuat hasil pencetakan yang jelek. (Gouldsen, C and Blake, P. 1998).

Pada penelitian ini dimaksudkan untuk melakukan pengontrolan terhadap kecepatan turunnya bahan jenis ABS pada *extruder* pada kecepatan 2cm/s. Sebagai pengendali, diterapkan kontrol PID untuk mengendalikan kecepatan untuk mencapai set point yang diinginkan dan juga agar dapat kembali ke set point yang diinginkan ketika terdapat gangguan. Diharapkan dengan menggunakan kontrol PID kecepatan turunya bahan pada *extruder printer 3D* dapat dikendalikan dengan sesuai yang diinginkan.

1.3 RUMUSAN MASALAH

1. Bagaimana merancang perangkat keras pengendali kecepatan turunnya bahan pada *extruder printer 3D* ?
2. Bagaimana merancang perangkat lunak kontroler PID sebagai pengendali kecepatan turunnya bahan pada *extruder printer 3D* ?

1.4 BATASAN MASALAH

1. Plant berupa *extruder* (tempat jalur masuknya bahan).
2. Pengaturan yang dilakukan adalah pengaturan kecepatan turunnya bahan melalui pengaturan kecepatan putaran motor yang untuk menggerakkan *extruder*.
3. Pengendalian kecepatan menggunakan kontroler PID.
4. Kinerja *driver* dan elektronika tidak dibahas secara mendalam.
5. Sensor yang digunakan adalah sensor *rotary encoder*.
6. Bahan baku yang digunakan adalah bahan jenis plastik ABS.
7. Bahan tidak sampai dilelehkan oleh heater

1.5 TUJUAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengendalikan kecepatan turunnya bahan jenis abs pada *extruder printer* 3D menggunakan kontroler PID berbasis Arduino UNO yang diharapkan outpunya sesuai yang diinginkan.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Agar penyusunan laporan skripsi ini dapat mencapai sasaran dan tidak menyimpang dari judul yang telah ditentukan, maka diperlukan sistematika pembahasan yang jelas. Pembahasan dalam skripsi ini secara garis besar adalah sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi tentang uraian latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perancangan dan pembuatan alat.

BAB III Metode Penelitian

Membahas metode penelitian dan perancangan alat.

BAB IV Perancangan dan Pembuatan Alat

Membahas perancangan alat yang meliputi spesifikasi, perancangan blok diagram, prinsip kerja dan pembuatan alat, serta bagaimana penerapannya dalam sistem secara keseluruhan.

BAB V Pengujian dan Analisis

Membahas hasil pengujian sistem yang telah dibuat, serta analisis hasil yang diperoleh

BAB VI Kesimpulan dan Saran

Membahas kesimpulan perancangan ini dan saran-saran yang diperlukan untuk pengembangan selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

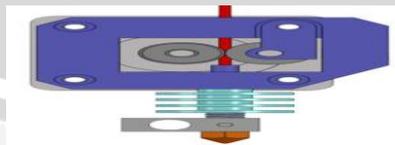
Pada bab ini akan dijelaskan teori penunjang yang digunakan dalam penulisan dengan tujuan untuk memudahkan dalam memahami cara kerja rangkaian maupun dasar-dasar perencanaan alat. Teori yang akan dijelaskan dalam Bab II adalah:

2.1 Printer 3D

Dengan printer 3d kita dapat membuat seperti miniatur mobil-mobil an dan lain-lain. Dengan cara mendesaian yang dibuat di komputer. Cara kerja secara umum dari printer adalah bahan akan turun masuk di bagian komponen alat yang ada di printer 3D yaitu *extruder* (tempat jalur masuknya bahan) kemudian bahan akan dilelehkan oleh heater dengan teknik *extrusion* (melelehkan bahan dan kemudian mengeluarkan hasil pelelehan bahan tersebut) setelah itu dilakukan *sintering* (memadatkan lelehan bahan) pada *printbed*. *Printbed* difungsikan sebagai tempat hasilnya bahan yang sudah dikeluarkan *nozzle*. Pada bagian *head* dari printer 3D terdapat *Nozzle* yang tugasnya untuk mengeluarkan bahan yang telah melalui proses pelelehan pada bahan tersebut. Hasil dari pencetakan di printer 3D berupa objek padat yang tidak hanya dapat dilihat namun juga dapat dipegang.3D (Evans, Brians. 2012.)

2.2 Extruder

Mesin printer 3D ini mempunyai komponen-komponen didalamnya, salah satunya adalah *extruder*. *Extruder* adalah objek fisik alat yang digunakan untuk sebagai jalur masuk turunnya bahan baku printer 3D. Proses jalur masuknya bahan pada *extruder* ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Extruder

Sumber: print3dforum.com/image

2.3 ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)

Bahan baku yang digunakan pada printer 3D ada bermacam macam yaitu, filament, logam, serbuk dan lain sebagainya. Warna dari hasil printer 3D juga di tentukan dari warna *filament* yang digunakan, ada berbagai macam pilihan warna dari *filament* ABS seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

Sumber: 3d-printer-filament.com/image

ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) adalah sejenis polimer yang memiliki banyak aplikasi, karena kekuatannya, mudahnya di bentuk dan harga yang murah. ABS sudah ada sejak tahun 1940-an meskipun sudah terbukti ketangguhannya namun tidak populer dan tidak di kenal saat itu karena harganya yang mahal karena keterbatasan bahan dasarnya yaitu butadiene (sejenis karet), namun teknologi berkembang di tahun 1960-an dan mudahnya membuat butadiene tadi maka lahirlah polimer terkenal yang di panggil plastik ABS. Dan sejak itu ABS menjadi polimer yang paling populer dalam dunia insinyur. ABS punya banyak tingkat ketahanan dan tidak semua sama. Sifat yang paling di cari dari ABS adalah ketahanan bantingnya dan ketangguhan dari plastik ini. ABS memiliki diameter 1,75mm.

Meskipun sebagian besar plastik ABS digunakan untuk tujuan mekanik, mereka juga di gunakan pada alat-alat listrik karena ketahanannya akan panas, namun ABS meleleh bila terkena suhu tinggi, titik leleh ABS pada suhu 217-237⁰c. suhu dekomposisi termal lebih besar dari 250⁰c seperti api dari kompor gas, tapi tidak bisa terbakar. Dan bahan ini memiliki standar kecepatan bahan tersebut turun 2cm/s. dikarenakan jika melebihi kecepatan tersebut bahan tersebut akan tidak menghasilkan yang baik, bahan tersebut akan terlalu cair. Jika terlalu cari hasil pencetakan akan tidak merata. (Gouldsen, C and Blake, P. 1998).

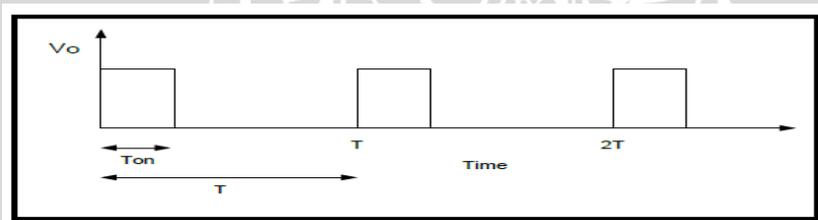
2.4 Motor DC

Prinsip kerja motor DC sesuai dengan hukum kemagnetan Lorentz, yaitu membangkitkan fungsi magnet pada suatu konduktor berarus dalam medan magnet

sehingga timbul GGL induksi. Setiap arus yang mengalir melalui sebuah konduktor akan menimbulkan medan magnet. Arah medan magnet dapat ditentukan dengan kaidah tangan kiri. Kaidah tangan kiri untuk motor menunjukkan arah arus yang mengalir didalam sebuah konduktor yang berada dalam medan magnet. Jari tengah menunjukkan arah arus yang mengalir pada konduktor, jari telunjuk menunjukkan arah medan magnet dan ibu jari menunjukkan arah medan putar (Soemarwanto,2006).

Metode *Pulse Width Modulation* (PWM) adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatur kecepatan dari motor DC. Kecepatan motor DC tergantung pada besarnya *duty cycle* yang diberikan pada motor DC tersebut. Pada sinyal PWM, frekuensi sinyal konstan sedangkan *duty cycle* bervariasi dari 0%-100%. Dengan mengatur *duty cycle* akan diperoleh keluaran yang diinginkan (Alfarisi R.,2011). *Duty cycle* adalah besarnya sinyal kontrol yang diberikan pada motor. Persamaan untuk perhitungan *duty cycle* ditunjukkan dalam persamaan 2.1 dengan T_{on} adalah periode logika tinggi, dan T adalah periode keseluruhan. Sinyal PWM secara umum ditunjukkan dalam Gambar 2.3.

$$Duty\ cycle = \frac{T_{on}}{T} \times 100\% \dots\dots\dots(2.1)$$



Gambar 2.3 Sinyal PWM

Keterangan:

- T_{on} = Periode logika tinggi
- T = Periode keseluruhan
- V_o = Amplitudo

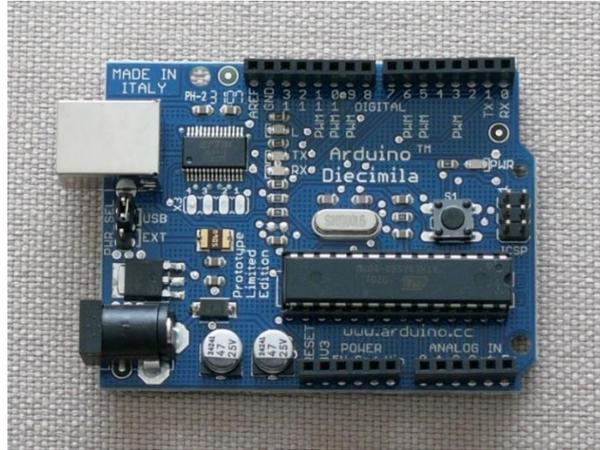
2.5 Arduino Uno

Arduino UNO adalah *board* mikrokontroler berbasis ATmega328. Memiliki 14 pin *input* dari *output* digital dimana 6 pin *input* tersebut dapat digunakan sebagai *output* PWM dan 6 pin *input* analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, *jack power*, ICSP header, dan tombol *reset*. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya



menghubungkan *Board* Arduino UNO ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau listrik dengan AC yang-ke adaptor-DC atau baterai untuk menjalankannya.

UNO berbeda dengan semua *board* sebelumnya dalam hal koneksi USB-to-serial yaitu menggunakan fitur Atmega8U2 yang diprogram sebagai konverter USB-to-serial berbeda dengan *board* sebelumnya yang menggunakan *chip* FTDI *driver* USB-to-serial. Modul Arduino UNO ditunjukkan dalam Gambar 2.4



Gambar 2.4 Arduino UNO

Sumber: : arduino *Datasheet*

Nama “UNO” berarti *satu* dalam bahasa Italia, untuk menandai peluncuran Arduino 1.0. UNO dan versi 1.0 akan menjadi versi referensi dari Arduino. UNO adalah yang terbaru dalam serangkaian board USB Arduino.

2.5.1 Daya

Arduino UNO dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan catu daya eksternal (otomatis). Eksternal (non-USB) daya dapat berasal baik dari AC-ke adaptor-DC atau baterai. Adaptor ini dapat dihubungkan dengan menancapkan *plug jack* pusat-positif ukuran 2.1mm konektor *POWER*. Ujung kepala dari baterai dapat dimasukkan kedalam Gnd dan Vin pin header dari konektor *POWER*. Kisaran kebutuhan daya yang disarankan untuk board UNO adalah 7 sampai dengan 12 volt, jika diberi daya kurang dari 7 volt kemungkinan pin 5v UNO dapat beroperasi tetapi tidak stabil kemudian jika diberi daya lebih dari 12V, regulator tegangan bisa panas dan dapat merusak *board* UNO.

2.5.2 Memori

ATmega328 memiliki 32 KB (dengan 0,5 KB digunakan untuk *bootloader*), 2 KB dari SRAM dan 1 KB EEPROM.

2.5.3 Input dan Output

Masing-masing dari 14 pin digital di UNO dapat digunakan sebagai input atau output, dengan menggunakan fungsi *pinMode* (), *digitalWrite* (), dan *digitalRead* (), beroperasi dengan daya 5 volt. Setiap pin dapat memberikan atau menerima maksimum 40 mA dan memiliki *internal pull-up* resistor (secara default terputus) dari 20-50 kOhms. Selain itu, beberapa pin memiliki fungsi khusus:

1. *Serial*: 0 (RX) dan 1 (TX). Digunakan untuk menerima (RX) dan mengirimkan (TX) TTL data serial. Pin ini dihubungkan ke pin yang berkaitan dengan *chip* Serial ATmega8U2 USB-to-TTL.
2. *Eksternal menyela*: 2 dan 3. Pin ini dapat dikonfigurasi untuk memicu *interrupt* pada nilai yang rendah, dengan batasan tepi naik atau turun, atau perubahan nilai. *PWM*: 3, 5, 6, 9, 10, dan 11. Menyediakan *output* PWM 8-bit dengan fungsi *analogWrite* ().
3. *SPI*: 10 (SS), 11 (Mosi), 12 (MISO), 13 (SCK). Pin ini mendukung komunikasi SPI menggunakan *SPI library*.
4. *LED*: 13. Ada *built-in LED* terhubung ke pin digital 13. Ketika pin bernilai nilai *HIGH*, *LED on*, ketika pin bernilai *LOW*, *LED off*.
5. UNO memiliki 6 masukan analog, berlabel A0 sampai dengan A5, yang masing-masing menyediakan 10 bit dengan resolusi (yaitu 1024 nilai yang berbeda). Selain itu, beberapa pin memiliki fungsi khusus:
6. *I2C*: A4 (*SDA*) dan A5 (*SCL*). Dukungan I2C (TWI) komunikasi menggunakan perpustakaan *Wire*. *Aref*. Tegangan referensi (0 sampai 5V saja) untuk *input* analog. Digunakan dengan fungsi *analogReference* ().
7. *Reset*. Bawa baris ini *LOW* untuk me-*reset* mikrokontroler.

2.5.4. Komunikasi

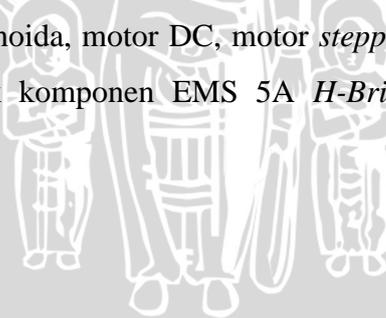
Arduino UNO memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain, atau mikrokontroler lainnya. ATmega328 menyediakan UART TTL (5V) untuk komunikasi serial, yang tersedia di pin digital 0 (RX) dan 1 (TX). Sebuah ATmega8U2 sebagai saluran komunikasi serial melalui USB dan sebagai *port virtual com*

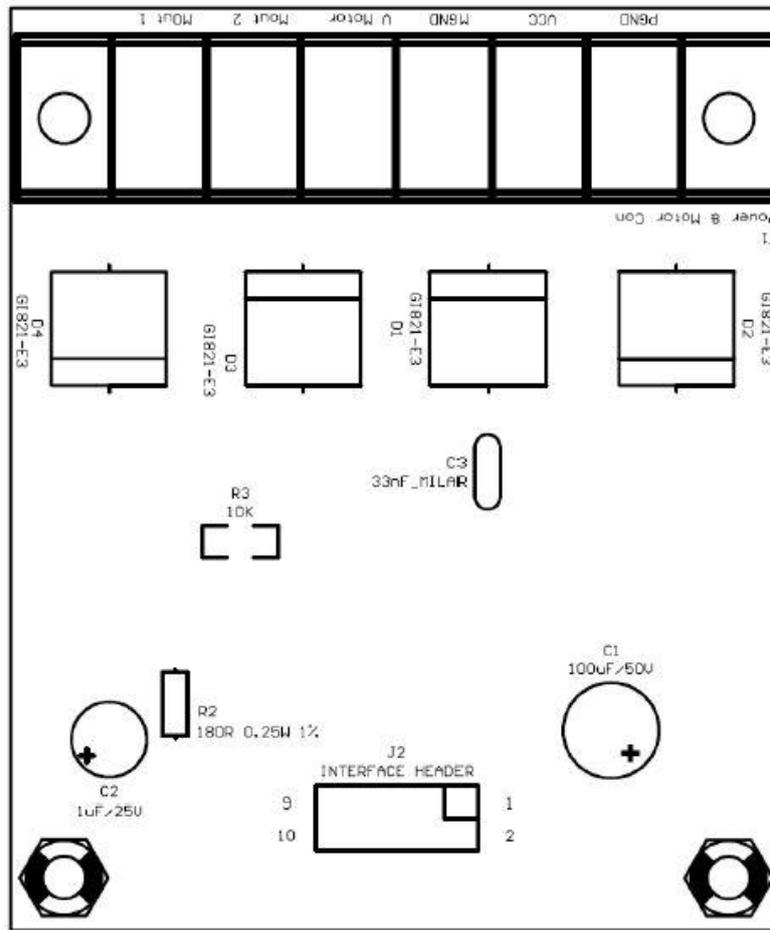
untuk perangkat lunak pada komputer. *Firmware* '8 U2 menggunakan driver USB standar COM, dan tidak ada *driver eksternal* yang diperlukan. Namun, pada *Windows* diperlukan, sebuah file inf. Perangkat lunak Arduino terdapat monitor serial yang memungkinkan digunakan memonitor data tekstual sederhana yang akan dikirim ke atau dari *board* Arduino. *LED* RX dan TX di papan tulis akan berkedip ketika data sedang dikirim melalui *chip* USB-to-serial dengan koneksi USB ke komputer (tetapi tidak untuk komunikasi serial pada pin 0 dan 1).

Sebuah *Software Serial library* memungkinkan untuk berkomunikasi cara serial pada salah satu pin digital digital pada *board* UNO's. ATmega328 juga mendukung I₂C (TWI) dan komunikasi SPI. Perangkat lunak Arduino termasuk perpustakaan Kawat untuk menyederhanakan penggunaan bus I₂C.

2.6 Driver EMS 5A H-Bridge

Embedded Module Series (EMS) 5A H-Bridge merupakan *driver* H-Bridge dengan arus kontinu sampai dengan 5 A pada tegangan 5,5 Volt sampai 16 Volt. Modul ini dilengkapi dengan rangkaian sensor arus beban yang dapat digunakan sebagai umpan balik ke pengendali. Jalur catu daya input (VCC) terpisah dari jalur catu daya untuk beban (V mot). Dilengkapi dengan dioda eksternal untuk pengamanan beban induktif, proteksi hubungan singkat dan proteksi *overtemperature*. Modul ini mampu *drive* beban-beban induktif seperti misalnya *relay*, solenoida, motor DC, motor *stepper*, dan berbagai macam beban lainnya. Gambar tata letak komponen EMS 5A *H-Bridge* ditunjukkan dalam Gambar 2.5.





Gambar 2.5 Tata Letak Komponen *EMS H-Bridge 5 A*
(*Datasheet EMS 5A H-Bridge*)

2.7 Sensor Rotary Encoder

Rotary encoder adalah elektromekanik yang dapat mendeteksi atau memonitor gerakan dan posisi. *Rotary encoder* biasanya menggunakan sensor optik untuk menghasilkan serial pulsa yang dapat dijadikan gerakan, posisi dan arah. *Rotary encoder* adalah sensor rotari atau putaran yang terdiri dari dua bagian, yaitu satu rangkaian sensor optocoupler dan piringan derajat yang terdiri dari beberapa lubang yang adalah trigger dari sensor *optocoupler*. Sensor *rotary encoder* ditunjukkan dalam Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Sensor Rotary Encoder

Sumber: depokinstruments.com/image

2.8 Kontroler

Salah satu komponen sistem kontrol yang berfungsi mengolah sinyal umpan balik dan sinyal masukan acuan (*setpoint*) atau sinyal *error* mejadi sinyal kontrol. Sistem pengendalian dirancang untuk melakukan dan menyelesaikan tugas tertentu. Syarat utama sistem pengendalian adalah harus stabil. Di samping kestabilan mutlak, maka sistem harus memiliki kestabilan secara relatif, yakni tolok ukur kualitas kestabilan sistem dengan menganalisis sampai sejauh mana batas-batas kestabilan sistem tersebut jika dikenai gangguan (Ogata K.,1997). Selain itu analisis juga dilakukan untuk mengetahui bagaimana kecepatan sistem dalam merespons *input*, dan bagaimana peredaman terhadap adanya lonjakan (*over shoot*).

Suatu sistem dikatakan stabil jika diberi gangguan maka sistem tersebut akan kembali ke keadaan *steady state* di mana *output* berada dalam keadaan tetap seperti tidak ada gangguan. Sistem dikatakan tidak stabil jika *output*nya berosilasi terus menerus ketika dikenai suatu gangguan. Karena suatu sistem pengendalian biasanya melibatkan penyimpanan energi maka *output* sistem ketika diberi suatu *input*, tidak dapat mengikuti *input* secara serentak, tapi menunjukkan respon transien berupa suatu osilasi teredam sebelum mencapai *steady state*.

2.8.1 Kontroler Proporsional (P)

Kontroler proporsional adalah sebuah kontroler yang memiliki karakteristik mempercepat respon. Hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ ditunjukkan dalam persamaan 2.1:

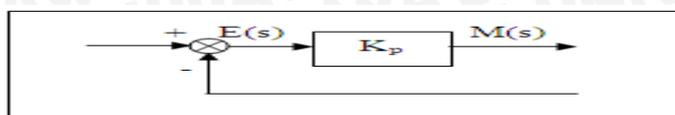
$$m(t) = K_p e(t) \dots \dots \dots (2.1)$$

atau, dalam besaran transformasi Laplace ditunjukkan dalam persamaan 2.2

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \dots \dots \dots (2.2)$$

dimana K_p adalah kepekaan proporsional atau penguatan.

Apapun wujud mekanisme yang sebenarnya dan apapun bentuk daya penggeraknya, kontroler proporsional pada dasarnya merupakan penguat dengan penguatan yang dapat diatur (Ogata K.,1997). Diagram blok kontroler proporsional ditunjukkan pada Gambar 2.7



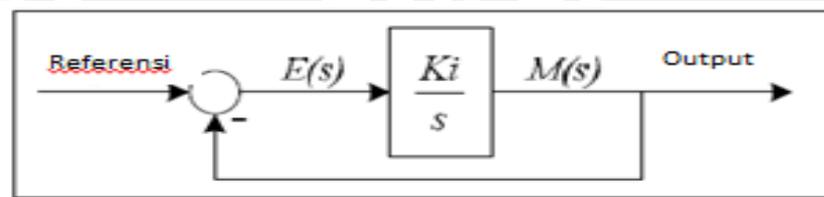
Gambar 2.7 Diagram Blok Kontroler Proporsional (Ogata. K., 1997)

2.8.2 Kontroler Integral (I)

Kontroler integral memiliki kemampuan untuk mengurangi *offset* yang ditinggalkan oleh kontroler proporsional. Harga keluaran kontroler $m(t)$ diubah dengan laju yang sebanding dengan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$. Persamaan kontroler K_i ditunjukkan dalam persamaan 2.3. (Ogata, K., 1997).

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_i e(t) \dots \dots \dots (2.3)$$

K_i adalah penguatan integral. Gambar 2.8 menunjukkan diagram blok kontroler integral.



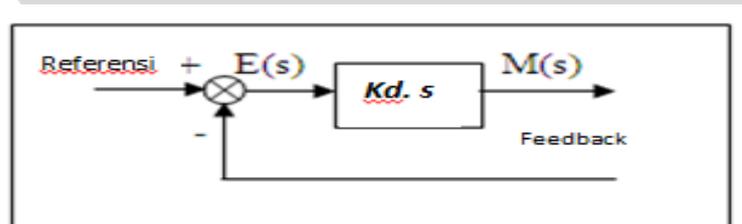
Gambar 2.8 Diagram Blok Kontroler Integral (Ogata, K., 1997)

2.8.3 Kontroler Differensial (D)

Kontroler ini digunakan untuk memperbaiki atau mempercepat respons transien sebuah sistem kontrol dengan cara memperbesar *phase lead* terhadap penguatan kontrol dan mengurangi *phase lag* penguatan tersebut (Ogata K., 1997). Kontroler differensial tidak dapat mengeluarkan *output* bila tidak ada perubahan *input*, selain itu kontroler differensial tidak dapat digunakan untuk proses yang mengandung *noise*. Hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ dinyatakan dalam persamaan 2.4

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_d \cdot s \dots \dots \dots (2.4)$$

K_d adalah penguatan differensial. Gambar 2.9 menunjukkan diagram blok kontroler differensial.



Gambar 2.9. Diagram Blok Kontroler Differensial (Ogata, K., 1997)



2.8.4 Kontroler Proporsional Integral Differensial (PID)

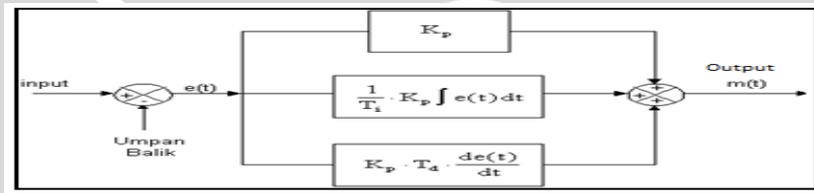
Gabungan aksi kontrol proporsional, integral, dan differensial mempunyai keunggulan dibandingkan dengan masing-masing dari tiga aksi kontrol tersebut. Masing-masing kontroler P, I, maupun D berfungsi untuk mempercepat reaksi sistem, menghilangkan *offset*, dan mendapatkan energi ekstra ketika terjadi perubahan *load*. Persamaan kontroler PID ini dapat dinyatakan dalam persamaan 2.5.

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \cdot e(t) dt + K_p \cdot T_d \frac{de(t)}{dt} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dalam transformasi Laplace dinyatakan dalam persamaan 2.6.

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s \right) \dots\dots\dots(2.6)$$

Ti adalah waktu integral dan Td adalah waktu derivatif. Gambar 2.10 menunjukkan diagram blok kontroler PID.

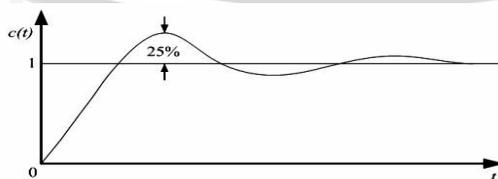


Gambar 2.10 Diagram Blok Kontroler PID (Ogata K., 1997)

2.9 Ziegler-Nichols

Ziegler dan Nichols mengemukakan aturan-aturan untuk menentukan nilai dari *gain* proporsional Kp, waktu integral Ti, dan waktu derivatif Td berdasarkan karakteristik respon transien dari *plant* yang diberikan. Penentuan parameter kontroler PID atau penalaan kontroler PID tersebut dapat dilakukan dengan bereksperimen dengan plan.(Ogata, K., 1997)

Terdapat dua metode yang disebut dengan aturan penalaan Ziegler-Nichols, pada kedua metode tersebut memiliki tujuan yang sama yaitu untuk mencapai 25% *maximum overshoot* pada respon *unit step*, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.11.

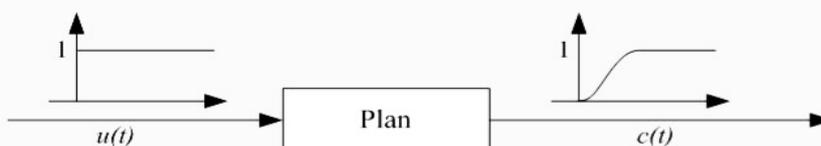


Gambar 2.11 Kurva Respon Unit Step yang Menunjukkan 25% Maximum Overshoot (Ogata, K.,1997)



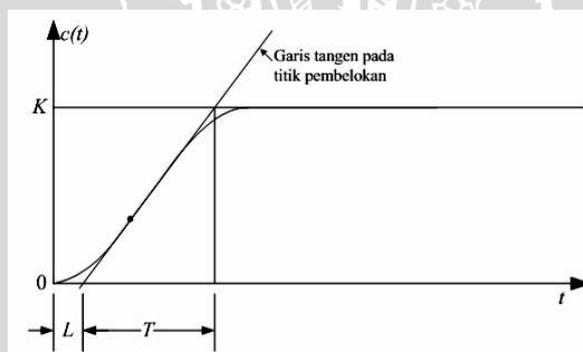
2.9.1 Metode Pertama

Metode pertama atau sering disebut metode kurva reaksi, respon dari *plant* dapat dapat diperoleh secara eksperimental dengan masukan berupa *unit step*, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Respon Plant Terhadap Masukan Berupa Unit Step (Ogata, K.,1997)

Jika dalam *plant* tersebut terdapat integrator atau *dominan complex-conjugate poles*, maka kurva respon unit step berbentuk seperti huruf S, seperti dalam Gambar 2.13. Jika respon tidak memberikan bentuk kurva S, maka metode ini tidak berlaku.(Ogata, K., 1997).



Gambar 2.13 Kurva Respon yang Berbentuk S (Ogata, K., 1997)

Kurva berbentuk S tersebut dapat dikarakteristikkan menjadi dua konstanta yaitu waktu tunda L dan konstanta waktu T . Waktu tunda dan konstanta waktu ditentukan dengan menggambar sebuah garis tangen pada titik pembelokan dari kurva S, dan menentukan perpotongan antara garis tangen dengan sumbu waktu t dan sumbu $c(t) = K$, seperti yang telah ditunjukkan dalam Gambar 2.12 Fungsi alih $C(s)/U(s)$ dapat dilakukan pendekatan dengan sistem orde satu dinyatakan dengan persamaan 2.7 sebagai berikut (Ogata, K.,1997)

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{K e^{-Ls}}{Ts+1} \dots\dots\dots(2.7)$$

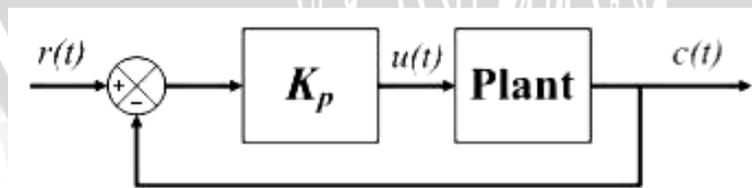
Ziegler dan Nichols menyarankan untuk menentukan nilai-nilai dari K_p , T_i dan T_d berdasarkan pada formula yang ditunjukkan dalam Tabel 2.1 (Ogata, K., 1997).

Tabel 2.1 Aturan Penalaan Ziegler-Nichols Berdasarkan Respon Unit Step Dari Plan

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2\frac{T}{L}$	$2L$	$0,5 L$

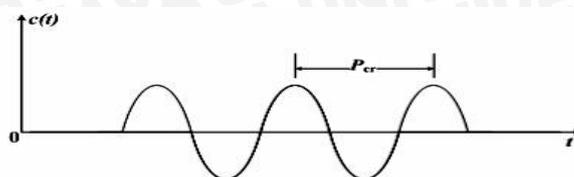
2.9.2 Metode Kedua

Dalam metode kedua Ziegler-Nichols, mula-mula yang dilakukan adalah membuat $T_i = \infty$ dan $T_d = 0$. Kemudian hanya dengan menggunakan tindakan kontrol proporsional, harga ditingkatkan dari nol ke suatu nilai kritis K_{cr} , disini mula-mula keluaran memiliki osilasi yang berkesinambungan (Jika keluaran tidak memiliki osilasi berkesinambungan untuk nilai K_p manapun yang telah diambil, maka metode ini tidak berlaku). Dari keluaran yang berosilasi secara berkesinambungan, penguatan kritis K_{cr} dan periode P_{cr} dapat ditentukan. Diagram blok sistem *loop* tertutup dengan kontroler proporsional dapat dilihat dalam Gambar 2.14 dan untuk osilasi berkesinambungan dengan periode P_{cr} dapat dilihat dalam gambar 2.15. Ziegler dan Nichols menyarankan penyetelan nilai parameter K_p , T_i , T_d dan berdasarkan rumus yang diperlihatkan dalam Tabel 2.2 (Ogata, K., 1997).



Gambar 2.14 Sistem Loop Tertutup dengan Kontroler Proporsional

(Ogata, K., 1997)



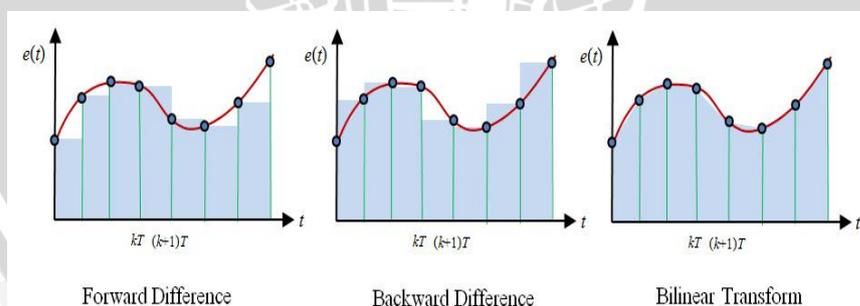
Gambar 2.15 Osilasi Berkesinambungan dengan Periode P_{cr} (Ogata, K., 1997)

Tabel 2.2 Aturan Dasar Ziegler-Nichols Berdasarkan Critical Gain K_{cr} dan Critical Period P_{cr} (Ogata, k.,1997)

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	0.5 K_{cr}	∞	0
PI	0.45 K_{cr}	$\frac{1}{1.2} P_{cr}$	0
PID	0.60 K_{cr}	0.5 P_{cr}	0.125 P_{cr}

2.10 Diskritisasi

Diskritisasi dilakukan karena persamaan kontroler PID yang didapat dari transformasi laplace masih dalam bentuk kontinyu. Banyak cara yang dapat digunakan untuk proses diskritisasi (mengubah bentuk analog menjadi diskrit), tiga diantaranya adalah *forward difference*, *backward difference*, dan *bilinear transform*. Semua metode yang digunakan hanya merupakan pendekatan (*approximation*), sehingga hasilnya tidak akan sama persis dengan bentuk analog. Hal ini dikarenakan bentuk diskrit selalu ada sebagian informasi yang hilang, yaitu informasi yang terjadi antarasatu cuplikan dengan cuplikan lainnya walaupun frekuensi cuplik yang digunakan tinggi dan karena formula matematika yang digunakan dalam proses diskritisasi juga diturunkan berdasarkan pendekatan agar lebih mudah digunakan. 3 metode diskritisasi ditunjukkan dalam Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Metode Konversi

Proses diskritisasi dilakukan dengan mengganti operator s pada transformasi Laplace menjadi bentuk transformasi Z menggunakan salah satu dari tiga metode diatas yaitu:

Backward difference $s = \frac{1-z^{-1}}{Ts}$

Forward difference $s = \frac{1-z^{-1}}{Ts z^{-1}}$

Bilinear transform $s = \frac{2(1-z^{-1})}{Ts(1+z^{-1})}$

Algoritma sudah dalam bentuk diskrit yang dinyatakan dalam transformasi Z. Untuk implementasinya, bentuk transformasi Z perlu diubah menjadi *time domain*, dengan mengganti operator z^0 menjadi waktu saat ini (k), dan z^{-1} menjadi waktu sesaat sebelumnya atau satu kali waktu tunda ($k - 1$) (Wain Y, 2009).



BAB III

METODE PENELITIAN

Dalam menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian yang terdapat pada pendahuluan maka diperlukan langkah-langkah untuk menyelesaikan masalah tersebut. Metode yang digunakan dapat diuraikan sebagai berikut:

3.1. Penentuan Spesifikasi Alat

Adapun spesifikasi alat sebagai berikut:

1. Komputer atau PC yang sudah terinstall *software* arduino.
2. *Power Supply Unit* (PSU) yang digunakan memiliki *range* 0-12 Volt.
3. Perangkat kontroler yang digunakan adalah Arduino UNO.
4. Sensor *Rotary encoder*.
5. Motor DC 12 v sebagai akuator untuk menggerakkan *extruder*.
6. Kontroler yang digunakan adalah kontroler Proporsional, Integral, dan Diferensial (PID).
7. *Extruder* tempat terjadinya untuk turunnya bahan abs.

3.2. Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan sebagai langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem beserta rangkaian elektronik dan pemrogramannya. Hal ini dilakukan agar proses identifikasi sistem dapat berjalan sesuai dengan deskripsi awal yang telah direncanakan.

Perancangan sistem yang dilakukan meliputi:

1. Perancangan elektronik.
2. Perancangan program pada perangkat Arduino sebagai media akuisisi data untuk proses indentifikasi *plant*.
3. Blok diagram sistem.

3.3. Realisasi Pembuatan Sistem

Untuk merealisasikan alat atau sistem yang telah dirancang secara keseluruhan, maka perlu diperhatikan beberapa hal dalam pembuatan alat tersebut, diantaranya yaitu:

1. Pembuatan purwarupa ekstruder.
2. Pembuatan modul rangkaian.

3. Penentuan rangkaian elektrik yang meliputi rangkain catu daya, driver, sensor rotary encoder, mikrokontroler Arduino.

3.4. Pengujian Sistem

Untuk memastikan sistem ini berjalan dengan baik maka perlu dilakukan pengujian sistem, meliputi pengujian perangkat keras (*hardware*) maupun perangkat lunak (*software*) yang dilakukan baik secara blok rangkaian maupun keseluruhan sistem.

3.5. Pengambilan Kesimpulan

Kesimpulan diambil berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian sistem secara keseluruhan. Jika hasil yang didapatkan telah sesuai dengan yang direncanakan sebelumnya, maka proses tersebut telah berhasil memenuhi harapan dan tentunya memerlukan pengembangan lebih lanjut untuk penyempurnaan.



BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Dalam bab ini akan dibahas mengenai perancangan dan pembuatan sistem pengendalian kecepatan turunnya bahan pada ekstruder. Pada dasarnya perancangan alat meliputi perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak.

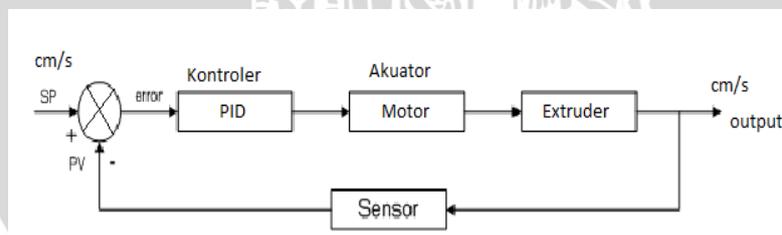
4.1. Perancangan Sistem

Perancangan dan pembuatan alat terdiri dari dua bagian, yaitu perancangan dan pembuatan perangkat keras serta perancangan dan pembuatan perangkat lunak. Perancangan dan pembuatan alat dilakukan secara bertahap untuk memudahkan analisis sistem. Beberapa aspek yang perlu dijelaskan dalam bab ini meliputi:

1. Cara kerja alat.
2. Spesifikasi alat.
3. Perancangan perangkat keras.
4. Perancangan perangkat lunak (perancangan kontrol PID).

4.2. Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem yang dirancang ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram Blok Sistem

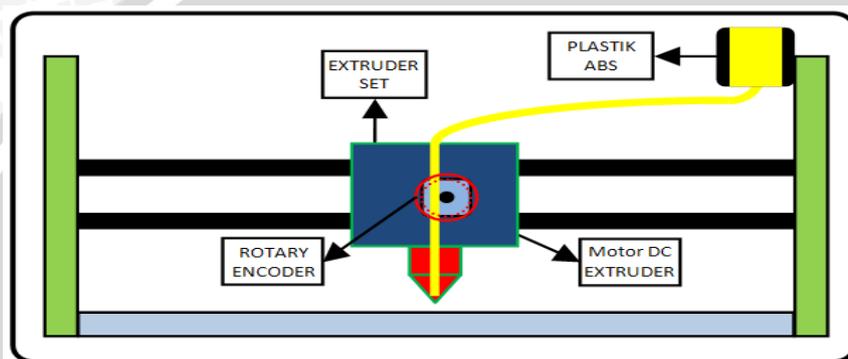
Keterangan dari blok diagram sistem tersebut adalah sebagai berikut:

1. *Set point* pada sistem untuk kecepatan adalah 2cm/s.
2. Eror didapatkan selisih antar keluaran nilai yang terjadi pada saat itu dengan nilai set point
3. Pusat pengendalian sistem menggunakan mikrokontroler Arduino yang memberikan sinyal keluaran berupa *pulse width modulation* (PWM) ke *driver*.

4. *Plant* sistem berupa kecepatan turunnya bahan di dalam *extruder* (tempat jalur masuk bahan). dan motor DC sebagai actuator untuk menggerakkan *extruder*.
5. Sebagai *feed back* digunakan sensor rotary encoder.
6. Keluaran dari sistem merupakan kecepatan turunya bahan (2cm/s) pada *extruder*.

4.3 Spesifikasi Alat

Skema perancangan sistem dapat dilihat dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Skema Perancangan *Extruder Printer 3D*

4.4. Prinsip Kerja Sistem

Cara kerja sistem pengendalian kecepatan turunnya bahan pada *plant extruder* adalah sebagai berikut:

1. Catu daya yang digunakan terdiri atas dua macam, yaitu :
 - a. 5 VDC yang digunakan sebagai catu daya bagi mikrokontroler Arduino.
 - b. 12 VDC yang digunakan sebagai catu daya motor DC
2. Menggunakan sensor rotary encoder dimana sinyal keluaran dari sensor berupa data digital sehingga dapat dikoneksikan langsung sebagai masukan pada mikrokontroler Arduino kemudian diproses menjadi sinyal kontrol berupa PWM.
3. Sinyal kontrol dari mikrokontroler difungsikan sebagai masukan ke *driver*. *Driver* berfungsi menguatkan sinyal yang dihasilkan mikrokontroler Arduino dari 0-5 Volt menjadi 5-12 Volt
4. Motor DC akan mengatur kecepatan untuk membantu gerak *extruder*. ketika pembacaan oleh sensor belum mencapai *set point*.
5. Gerak *extruder* akan berubah sesuai dengan pembacaan sensor.

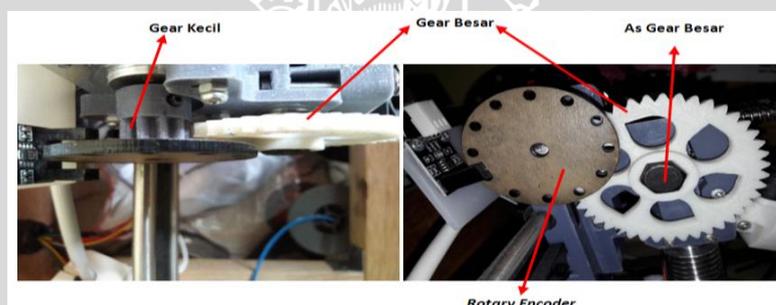
6. Gangguan diberikan pada plant saat kecepatan turunnya bahan abs telah mencapai *set point* agar dapat melihat aksi kontrol yang dilakukan oleh kontroler untuk mencapai *set point* kembali.
7. Data hasil pengontrolan ditampilkan pada program *serial monitor* Arduino IDE.

4.5. Perancangan Perangkat Keras

Berdasarkan diagram blok perancangan alat yang telah disusun, perancangan perangkat keras meliputi perancangan plant pengendali kecepatan turunnya bahan serta perancangan elektrik.

4.5.1 Perancangan Extruder set

pada penelitian ini menggunakan *extruder set* dimana untuk membantu gerak turunnya bahan. Adapun hasil perancangan *extruder set* ditunjukkan dalam Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Sistem Exteruder Set

Berdasarkan gambar 4.3 menunjukkan bahwa sistem extruder menggunakan persambungan gear kecil dan gear besar. Dimana perbandingan adalah sebagai berikut:

- Gear kecil = 20 gigi
- Gear besar = 30 gigi

Dan pada penelitian menggunakan setpoint cm/s maka diperlukan konversi nilai Rpm yang terbaca oleh sensor *rotary encoder*, dimana sensor *rotary encoder* dihubungkan dengan gear kecil. Adapun tahapan awal untuk tahap konversi adalah merubah Rpm (gear kecil) menjadi Rpm (gear besar) menggunakan persamaan 4.1 sebagai berikut :

$$(Gear Besar) = (20 / 30) * Rpm(Gear Kecil) \dots\dots\dots(4.1)$$

Interface Header pada driver EMS H-Bridge 5 A berfungsi sebagai input untuk antar muka dengan *input-output* digital serta output analog dari modul H-Bridge. Berikut deskripsi dari masing-masing pin ditunjukkan dalam tabel 4.1.

Tabel 4.1 Fungsi Pin EMS H-Bridge 5 A

No. Pin	Fungsi
1	Pin <i>input</i> untuk menentukan <i>output</i> MOUT1
2	Pin <i>input</i> untuk menentukan <i>output</i> MOUT2
3	Pin <i>enable</i> untuk <i>output</i> MOUT1 Diberi logika <i>high</i> untuk mengaktifkan <i>half</i> H-Bridge 1, diberi logika <i>low</i> secara eksternal untuk menonaktifkan <i>half</i> H-Bridge 1. Jika terjadi kondisi <i>fault</i> (<i>thermal shutdown</i> , <i>undervoltage</i> , <i>overvoltage</i> , dan sebagainya), maka pin ini akan ditarik <i>low</i> secara internal oleh modul H-Bridge untuk melaporkan adanya kondisi <i>fault</i>
4	Pin <i>enable</i> untuk <i>output</i> MOUT2 Diberi logika <i>high</i> untuk mengaktifkan <i>half</i> H-Bridge 2, diberi logika <i>low</i> secara eksternal untuk menonaktifkan <i>half</i> H-Bridge 2. Jika terjadi kondisi <i>fault</i> (<i>thermal shutdown</i> , <i>undervoltage</i> , <i>overvoltage</i> , dan sebagainya), maka pin ini akan ditarik <i>low</i> secara internal oleh modul H-Bridge untuk melaporkan adanya kondisi <i>fault</i>
5	<i>Output</i> tegangan analog yang berbanding lurus dengan arus beban (<i>range output</i> 0 – 5 Volt)
6	Pin <i>input</i> untuk mengatur kerja modul H-Bridge secara PWM
7, 9	Terhubung ke catu daya untuk <i>input</i> (5 Volt)
8, 10	Titik referensi untuk catu daya <i>input</i>

4.5.3 Konfigurasi I/O Arduino

Mikrokontroler Arduino berfungsi sebagai pusat pengolah data utama dalam proses pengendalian. Konfigurasi I/O pada mikrokontroler Arduino ditunjukkan dalam tabel 4.2.

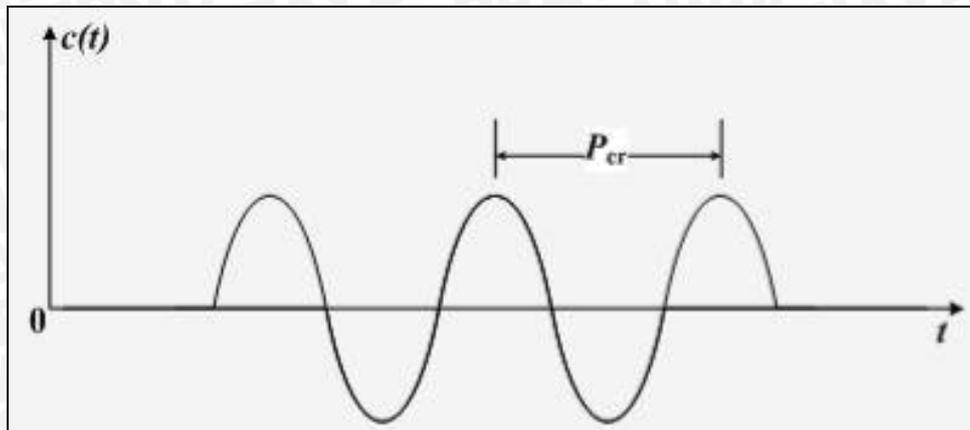
Tabel 4.2 Fungsi Pin Arduino

No.	Pin	Fungsi
1	D2	Input Rotary Encoder BS5-T2M
2	D3	Input Push Button Start
3	D6	Output Pin EMS 5A H-Bridge
4	D7	Output Pin EMS 5A H-Bridge
5	D8	Output Pin Rs LCD
6	D9	Output Pin E LCD
7	D10	Output Pin 4 LCD
8	D11	Output Pin 5 LCD
9	D12	Output Pin 6 LCD
10	D13	Output Pin 7 LCD

4.6. Perancangan Algoritma Kontroler PID

Untuk memenuhi tujuan performansi *loop* yang diinginkan, maka perlu ditambahkan kontroler pada sistem tersebut. Kontroler yang dipilih ialah Proporsional Integral Derivatif (PID). Kontroler PID dipilih karena karakteristik *plant* tersebut membutuhkan kontrol yang cepat dan meminimalkan *overshoot* untuk dapat menghasilkan kecepatan yang kondusif pada *plant extruder* sekaligus tempat turunnya bahan ABS.

Ziegler dan Nichols mengemukakan aturan-aturan untuk menentukan nilai dari gain proporsional K_p , waktu integral T_i , dan waktu derivative T_d . Penentuan parameter kontroler PID atau penalaan kontroler PID tersebut dapat dilakukan dengan bereksperimen dengan plan (Ogata, K.,1997). Pada pengerjaan skripsi ini digunakanlah *Ziegler-Nichols* yang kedua dengan mendapatkan osilasi yang berkesinambungan seperti Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Osilasi Berkesinambungan dengan Periode P_{cr} (Ogata, K., 1997)

Langkah menentukan *tuning* parameter dengan metode 2 *Ziegler-Nichols* adalah sebagai berikut

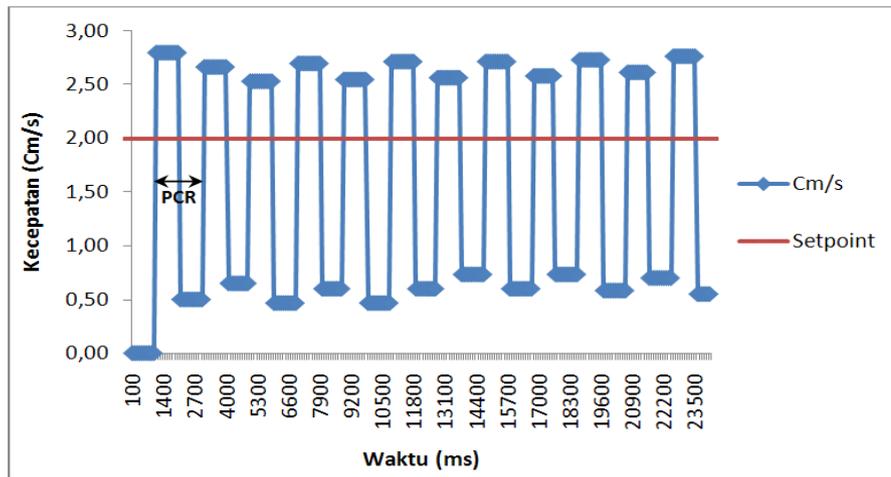
1. Buat suatu sistem loop tertutup dengan kontroler P dan plant di dalamnya.
2. Kemudian hanya dengan menggunakan tindakan kontrol proporsional, dengan $t_i = 0$, $t_d = 0$. Harga ditingkatkan dari nol ke suatu nilai kritis K_{cr} , disini mula-mula keluaran memiliki osilasi yang berkesinambungan.
3. Dari keluaran yang berosilasi secara berkesinambungan, penguatan kritis K_{cr} dan periode P_{cr} dapat ditentukan.
4. Setelah mendapatkan nilai K_{cr} dan P_{cr} kemudian menentukan nilai K_p , T_i , T_d sesuai ketentuan pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Aturan Dasar Ziegler-Nichols Berdasarkan *Critical Gain K_{cr}* dan *Critical Period P_{cr}*

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$\frac{1}{1.2} P_{cr}$	0
PID	$0.60 K_{cr}$	$0.5 P_{cr}$	$0.125 P_{cr}$

Sumber: Teknik Kontrol Automatik, Katsuhiko Ogata, 1997

Berikut kurva hasil perancangan kontroler menggunakan metode *Ziegler Nichols* yang ditunjukkan dalam Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik Output plan

Berdasarkan hasil pengujian respon plant dengan memasukkan nilai k_p dari yang terkecil sampai terbesar. Pada pengujian dengan menggunakan $K_p = 5$, Menunjukkan bahwa respon dapat beresilasi berkesinambungan dengan kondisi periode mendekati sama setiap perulangan. Dari osilasi yang berkesinambungan nilai k_{cr} dan p_{cr} dapat ditentukan.

Nilai k_{cr} dan p_{cr} yang didapatkan adalah sebagai berikut:

$$K_{cr} = 5$$

$$P_{cr} = (2800 - 1400) = 1400 \text{ ms} = 1.4 \text{ s}$$

Setelah mendapatkan nilai k_{cr} dan p_{cr} , maka nilai k_p , k_i , k_d adalah sebagai berikut:

$$K_p = 0.6 \times K_{cr} = 0.6 \times 5 = 3$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{3}{0.5 \times P_{cr}} = \frac{3}{0.5 \times 1.4} = 4.28$$

$$K_d = K_p \times T_d = 3 \times (0.125 \times P_{cr}) = 3 \times (0.125 \times 1.4) = 0.525$$

Dari perolehan nilai K_p , K_i , K_d maka didapatkan persamaan transformasi Laplace kontroler PID sebagai berikut:

$$C(s) = \left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right) e(s) \dots \dots \dots (4.4)$$

Persamaan tersebut masih dalam bentuk kontinu dan belum bisa dimasukkan ke mikrokontroler maka harus diubah menjadi bentuk diskrit melalui transformasi Z dengan cara mengganti operator s pada transformasi *Laplace*. Digunakan metode *Backward Difference* sehingga nilai operator s pada Laplace setara dengan:

$$s = \frac{1-z^{-1}}{T_s} \dots \dots \dots (4.5)$$

Dimana T_s : Periode sampling

Jika persamaan (4.4) disubstitusikan ke dalam persamaan (4.5) menjadi:

$$C(z) = \left[Kp + \frac{Ki}{\frac{1-z^{-1}}{T_s}} + Kd \frac{1-z^{-1}}{T_s} \right] E(z)$$

$$= \left[Kp + \frac{Ki \times T_s}{1-z^{-1}} + \frac{Kd}{T_s} (1-z^{-1}) \right] E(z)$$

Kontroler Proporsional : $Cp(z) = Kp E(z)$

Kontroler Integral : $Ci(z) = \frac{Ki T_s}{1-z^{-1}} \times E(z)$
 $Ci(z) - Ci(z)z^{-1} = Ki T_s \times E(z)$
 $Ci(z) = Ci(z)z^{-1} + Ki T_s$

Kontroler Diferensial : $Cd(z) = \frac{Kd}{T_s} (1-z^{-1}) \times E(z)$
 $= \frac{Kd}{T_s} [E(z) - E(z)z^{-1}]$

Dari persamaan di atas kemudian diubah kedalam persamaan beda sehingga didapatkan persamaan berikut:

Kontroler Proporsional : $Cp(k) = Kp \times E(k)$

Kontroler Integral : $Ci(k) = Ci(k-1) + Ki T_s \times E(k)$

Kontroler Diferensial : $\frac{Kd}{T_s} [E(k) - E(k-1)]$

Jika digabungkan menjadi:

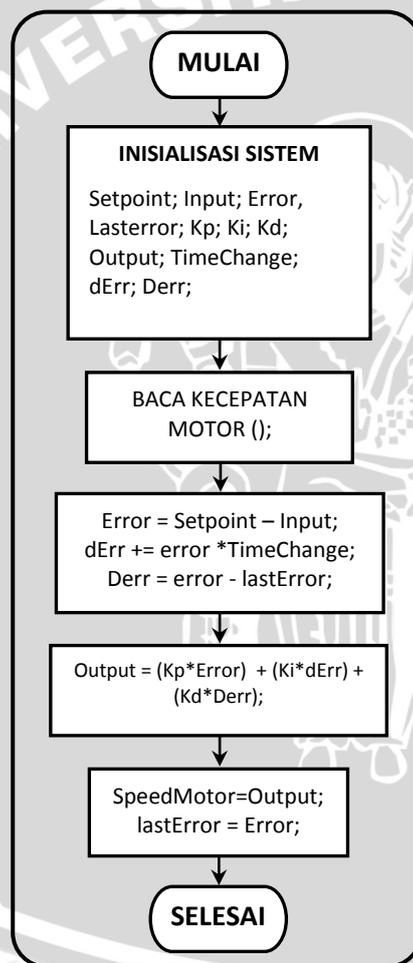
$$C(k) = C_p(k) + C_i(k) + C_d(k)$$

$$C(k) = [K_p \times E(k)] + [C_i(k-1) + K_i T_s \times E(k)] + \left[\frac{K_d}{T_s} [E(k) - E(k-1)] \right]$$

Dimana $(k - 1)$ adalah kondisi sebelumnya. Persamaan diatas telah berupa persamaan diskrit sehingga dapat dimasukkan ke dalam mikrokontroler.

4.7 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak pada penelitian ini menggunakan *compiler* arduino.ide. Sebelum menulis program pada arduino, terlebih dahulu dilakukan perancangan *flowchart* sistem. Adapun *flowchart* sistem ditunjukkan dalam Gambar 4.7.



Gambar 4.7 *Flowchart* Perangkat Lunak Sistem

Pada *flowchart* perangkat lunak sistem yang dirancang, yang pertama kali dilakukan adalah inisialisasi variabel. Kemudian setelah itu program akan memulai membaca kecepatan motor, yang mana nilai kecepatan motor akan menjadi *feedback* sistem yang akan dibandingkan dengan nilai setpoint yang sudah ditentukan. Dari nilai

error yang diperoleh akan diolah dengan menggunakan algoritma PID. Hasil dari pemrosesan algoritma PID berupa nilai *output* yang akan digunakan sebagai sinyal kontrol untuk menggerakkan motor DC *extruder*.





BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Tujuan pengujian sistem ini adalah untuk menentukan apakah alat yang telah dibuat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan. Pengujian pada sistem ini meliputi pengujian setiap blok maupun pengujian secara keseluruhan. Pengujian setiap blok ini dilakukan untuk menemukan letak kesalahan dan mempermudah analisis pada sistem apabila alat tidak bekerja sesuai dengan perancangan. Pengujian dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu:

1. Pengujian Catu Daya
2. Pengujian Sensor *Rotary Encoder*
3. Pengujian Driver Motor
4. Pengujian Keseluruhan Sistem

5.1 Pengujian Catu Daya

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tegangan catu daya yang akan digunakan pada arduino, driver motor dan juga motor.

5.1.1 Peralatan Pengujian

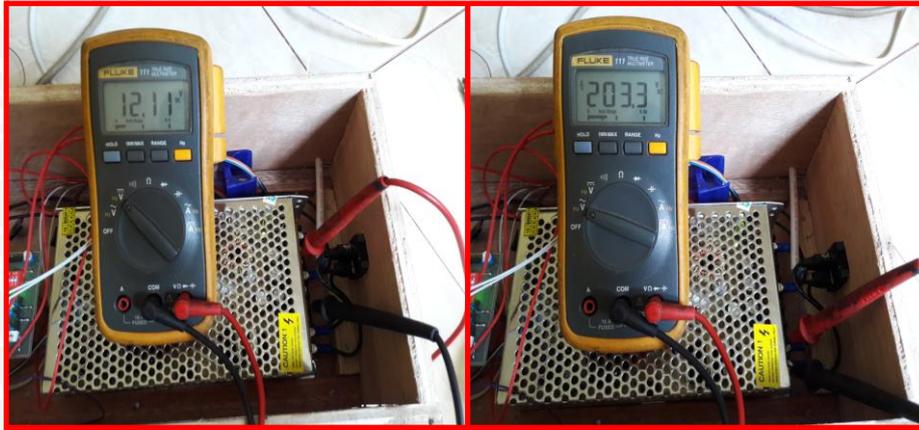
1. *Power Supply* 12 Volt.
2. Digital Multimeter FLUKE 111

5.1.2 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan kutub positif catu daya dengan probe positif multimeter, dan juga kutub negatif catu daya dengan probe negatif multimeter. Kemudian hasil pengukuran dicatat yang kemudian dihitung nilai error nya.

5.1.3 Hasil Pengujian

Hasil pengujian tegangan catu daya ditunjukkan dalam Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Pengujian Tegangan Catu Daya

Pengujian catu daya dilakukan dengan cara mengukur tegangan masukan *power supply* (AC) dan tegangan keluaran *power supply* (DC). Dari hasil pengujian yang dilakukan, dapat diketahui bahwa catu daya mempunyai error:

$$\begin{aligned} \text{Error} &= V_{\text{Pengukuran}} - V_{\text{Standart}} \dots\dots\dots(5.1) \\ &= 12.11 \text{ V} - 12\text{V} \\ &= 0.11 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\text{error}(\%) = \frac{|V_{\text{Pengukuran}} - V_{\text{standart}}|}{V_{\text{standart}}} \times 100\% \dots\dots\dots(5.2)$$

Dengan :

$V_{\text{Pengukuran}}$ = tegangan catu daya yang diukur.

V_{standart} = tegangan standar catu daya yang tertera di *name plate*.

$$\begin{aligned} \text{Error} &= (12.11 - 12) / 12 \\ &= 0.0091\% \end{aligned}$$

Terjadi *error* sebesar 0.0091%, namun tegangan tersebut masih dapat ditoleransi oleh arduino dan rangkaian lainnya.

5.2 Pengujian Sensor Kecepatan *Rotary Encoder*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari sensor kecepatan *rotary encoder*. Dimana sensor *rotary encoder* akan membaca nilai kecepatan rpm pada motor DC kemudian dibandingkan dengan nilai tachometer.

5.2.1 Peralatan Pengujian

1. Power Supply 12 V
2. Arduino Uno
3. *Driver* Motor EMS 5A H-Bridge
4. Motor DC 12V
5. *Tachometer Laser*
6. Sensor *Rotary Encoder*
7. Extruder

5.2.2 Prosedur Pengujian

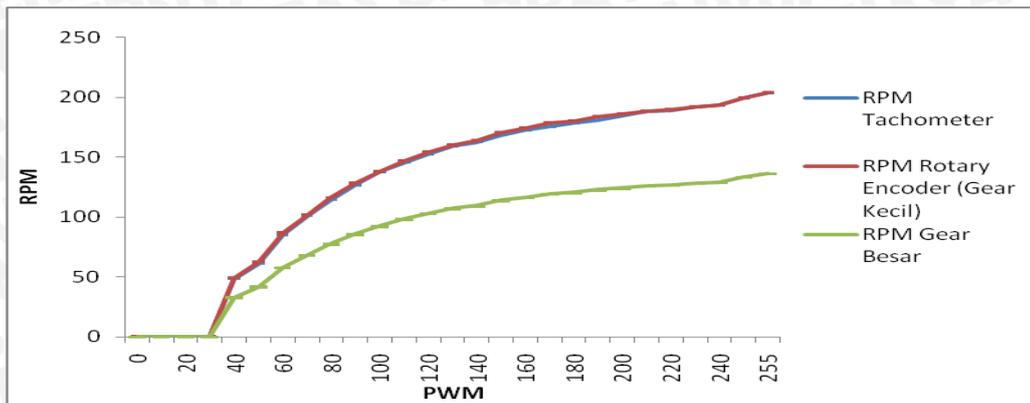
Pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan arduino dengan motor melalui driver motor EMS 5A H-Bridge. Kemudian keluaran sensor *rotary encoder* dihubungkan dengan arduino uno. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan nilai PWM bertahap dari kecil ke besar, kemudian pembacaan kecepatan tachometer dibandingkan dengan pembacaan sensor *rotary encoder*. Dalam pengujian ini juga dilakukan perhitungan untuk mengetahui kecepatan *extruder* untuk menggerakkan bahan supaya turun. Kemudian hasil pengujian dicatat dan dianalisis.

5.2.3 Hasil Pengujian

Hasil pengujian sensor rotary encoder ditunjukkan dalam Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Sensor Rotary Encoder

No.	PWM	Percobaan		Error (Rpm)	Perhitungan		
		RPM Tachometer	RPM Rotary Encoder (Gear Kecil)		RPM (Gear Besar)	Radian per second	Kecepatan (cm/s)
1	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
2	10	0	0	0	0,00	0,00	0,00
3	20	0	0	0	0,00	0,00	0,00
4	30	0	0	0	0,00	0,00	0,00
5	40	48,04	49,06	1,02	32,71	0,55	1,37
6	50	60,8	62,5	1,7	41,67	0,69	1,74
7	60	85,1	86,69	1,59	57,79	0,96	2,42
8	70	100,8	102,14	1,34	68,09	1,13	2,85
9	80	114,3	116,26	1,96	77,51	1,29	3,24
10	90	126,6	128,35	1,75	85,57	1,43	3,58
11	100	137,7	138,43	0,73	92,29	1,54	3,86
12	110	145,4	147,17	1,77	98,11	1,64	4,11
13	120	152,4	154,56	2,16	103,04	1,72	4,31
14	130	159,3	160,61	1,31	107,07	1,78	4,48
15	140	162,4	163,97	1,57	109,31	1,82	4,58
16	150	168,4	170,69	2,29	113,79	1,90	4,76
17	160	172,5	174,72	2,22	116,48	1,94	4,88
18	170	175,7	178,8	3,1	119,20	1,99	4,99
19	180	178,5	180,77	2,27	120,51	2,01	5,05
20	190	181,1	184,13	3,03	122,75	2,05	5,14
21	200	184,8	186,16	1,36	124,11	2,07	5,20
22	210	188,3	188,83	0,53	125,89	2,10	5,27
23	220	189,2	190,18	0,98	126,79	2,11	5,31
24	230	191,9	192,19	0,29	128,13	2,14	5,36
25	240	193,5	193,53	0,03	129,02	2,15	5,40
26	250	199,1	200,18	1,08	133,45	2,22	5,59
27	255	203,9	204,29	0,39	136,19	2,27	5,70



Gambar 5.3 Grafik Perbandingan RPM Terhadap PWM

Berdasarkan hasil pengujian sensor rotary encoder yang ditunjukkan dalam Tabel 5.1 dan Gambar 5.3 menunjukkan bahwa hasil pembacaan sensor rotary encoder memiliki kesalahan pembacaan yang kecil sehingga sensor dapat digunakan. Adapun perhitungan nilai kesalahan pembacaan adalah sebagai berikut:

$$\% \text{kesalahan} = \frac{(\sum \text{Hasil Pengukuran} - \sum \text{Referensi})}{\sum \text{Referensi}} \times 100\% \dots \dots \dots (5.3)$$

$$\% \text{kesalahan} = \frac{34.56}{3554.51} \times 100\% = 0.972\%$$

Dari hasil pengujian didapatkan kesalahan pembacaan sebesar 0.972%. Pada penelitian kali ini paramter kecepatan yang digunakan adalah cm/s. Nilai kecepatan cm/s didapatkan dari konversi nilai rpm yang terbaca oleh sensor *rotary encoder*.

5.3 Pengujian Driver EMS H-Bridge 5A

Pengujian *driver* motor *Direct Current* (DC) ini bertujuan untuk mengetahui *output driver* motor yang dibandingkan dengan masukannya yang kemudian dapat diketahui juga hubungan keluaran *Pulse Width Modulation* (PWM) dengan tegangan yang dibutuhkan untuk motor *Direct Current* (DC).

5.3.1 Peralatan Pengujian

1. Arduino Uno
2. Multimeter
3. Driver Motor EMS 5A H-Bridge
4. Laptop

5.3.2 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan arduino uno, driver EMS 5A H-Bridge dan juga motor DC. Kemudian arduino uno diberikan program untuk membangkitkan sinyal pwm dengan *duty cycle* yang dirubah-rubah dari nilai kecil sampai besar. Setiap kenaikan nilai *duty cycle* dibandingkan dengan nilai tegangan keluaran driver motor. Nilai *duty cycle* mempunyai nilai representasi dengan nilai pwm dalam arduino dengan nilai 0-255. Hasil pengujian dicatat dan kemudian dianalisis.

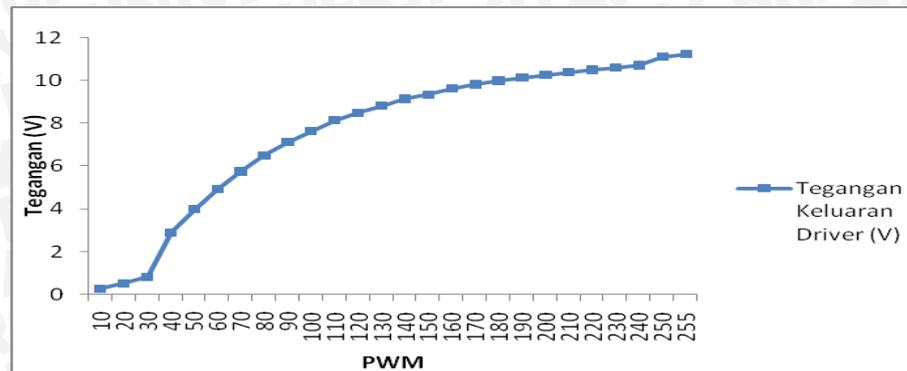
5.3.3 Hasil Pengujian

Hasil pengujian driver motor EMS 5A H-Bridge ditunjukkan dalam Tabel 5.2

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Driver Motor EMS H-Bridge 5A

No.	PWM	Tegangan Keluaran Driver (V)
1	10	0,26
2	20	0,502
3	30	0,797
4	40	2,88
5	50	3,98
6	60	4,92
7	70	5,75
8	80	6,5
9	90	7,13
10	100	7,63
11	110	8,14
12	120	8,5
13	130	8,82
14	140	9,14
15	150	9,35
16	160	9,63
17	170	9,83
18	180	10
19	190	10,14
20	200	10,28
21	210	10,4
22	220	10,51
23	230	10,61
24	240	10,71
25	250	11,12
26	255	11,24

Grafik hasil pengujian driver motor EMS 5A H-Bridge ditunjukkan dalam Gambar 5.4. berikut :



Gambar 5.4 Grafik Tegangan Keluaran Driver terhadap PWM

Berdasarkan hasil pengujian driver motor EMS 5A H-Bridge seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 5.2 dan Gambar 5.4 menunjukkan bahwa driver motor sudah dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Hal ini dapat diketahui ketika arduino uno memberikan nilai PWM dari kecil ke besar, tegangan keluaran driver motor juga ikut bertambah sebanding dengan pertambahan nilai PWM.

5.4 Pengujian Tanpa Kontroler

Pengujian ini bertujuan untuk melihat respon plan ketika diuji tanpa kontroller. Sehingga pada pengujian ini nanti hasilnya dapat diketahui apakah plan dapat bekerja ketika diberikan aksi kontrol.

5.4.1 Peralatan Pengujian

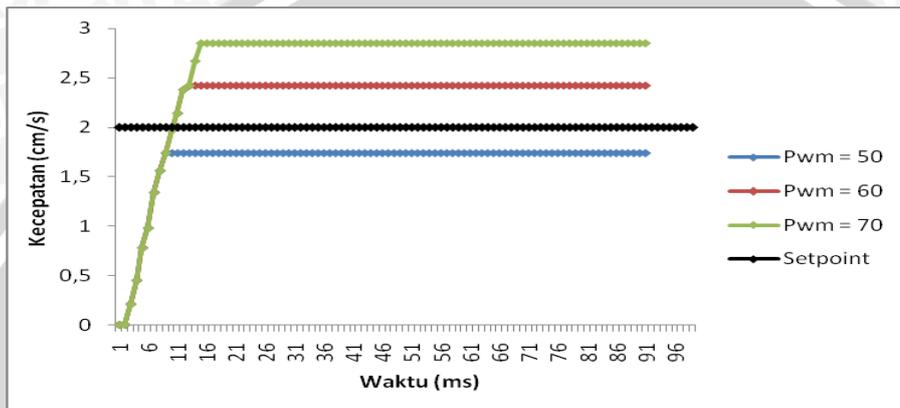
1. Arduino Uno
2. Motor DC 12 V
3. Driver Motor EMS 5A H-Bridge
4. Sensor *Rotary Encoder*
5. Laptop
6. *Extruder*

5.4.2 Prosedur Pengujian

Pengujian tanpa kontroler dilakukan dengan cara memberikan nilai pwm pada *driver* motor. Kemudian dicatat nilai pwm yang mendekati *set point* yang diharapkan yaitu sebesar yaitu 2cm/s.

5.4.3 Hasil Pengujian

Hasil pengujian tanpa kontroler ditunjukkan dalam Gambar 5.5



Gambar 5.5 Grafik Kecepatan Terhadap Waktu

Berdasarkan hasil pengujian tanpa kontroler yang ditunjukkan dalam grafik diatas dapat diketahui bahwa respon *plant* tidak dapat *steady* di *setpoint* pada nilai pwm 50, 60, dan 70. Sehingga agar respon *plant* dapat *steady* di nilai *setpoint* dianjurkan menggunakan kontroler.

5.5 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon sistem keseluruhan dalam menjaga kecepatan turunya bahan plastik jenis ABS dengan menggunakan controller PID dimana nilai K_p , K_i dan K_d sudah didapatkan melalui metode *ziegler-nichols*.

5.5.1 Peralatan Pengujian

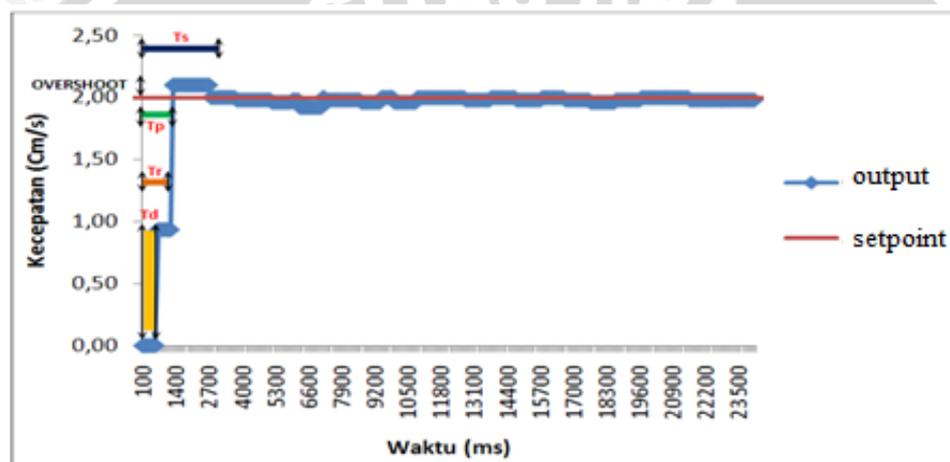
1. Power Supply 12 V
2. Arduino Uno
3. Driver Motor EMS 5A H-Bridge
4. Extruder
5. Motor DC 12V
6. Sensor Rotary Encoder

5.5.2 Prosedur Pengujian

Pengujian sistem keseluruhan dilakukan dengan cara menjalankan sistem keseluruhan. Dimana arduino sudah diprogram PID dengan parameter $K_p=3$, $K_i= 4.28$ dan $K_d= 0.525$.

5.5.3 Hasil Pengujian

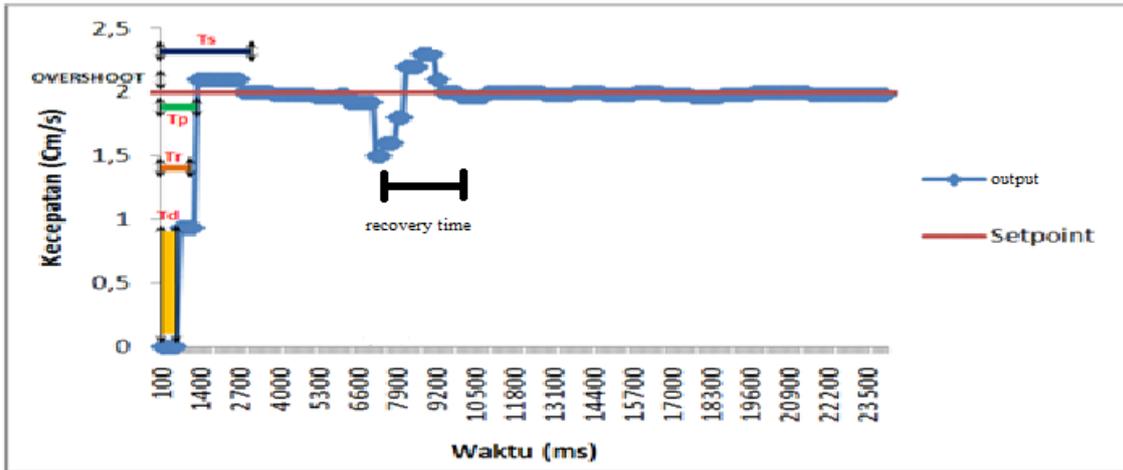
Hasil pengujian keseluruhan pada *plant extruder* dengan *set point* 2 cm/s ditunjukkan dalam gambar 5.6.



Gambar 5.6 Grafik *Output Plant* dengan *Setpoint* 2 cm/s Tanpa Gangguan

Dari grafik *output plant* dalam Gambar 5.7 dapat disimpulkan bahwa parameter PID yang diimplementasikan pada alat dengan *setpoint* kecepatan 2 cm/s memiliki *error steady state* sebesar 1.91 %, maksimal *overshoot* (MP) 10 %, *settling time* sebesar 2600 ms (2.6 detik), *peak time* (T_p) sebesar 1600 ms (1.6 detik), *delay time* (T_d) sebesar 550 ms (0.55 detik) dan *rise time* (T_r) sebesar 650 ms (0.65 detik).

Hasil pengujian keseluruhan pada *plant extruder* dengan *set point* 2 cm/s dengan gangguan ditunjukkan dalam gambar 5.7



Gambar 5.7 Grafik Output Plant Setpoint 2cm/s dengan Gangguan

Grafik *output plant* dalam Gambar 5.7 menunjukkan bahwa parameter PID yang diimplementasikan pada alat dengan *set point* kecepatan 2 cm/s diberi gangguan, memiliki *error steady state* sebesar 1.93%, maksimal *overshoot* (M_p) 15%, *recovery time* 1600ms (1.6 detik).



BAB VI PENUTUP

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, baik pengujian perblok rangkaian maupun pengujian sistem secara keseluruhan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan kontroler terdiri atas perancangan perangkat keras yaitu merancang modul mikrokontroler beserta driver dan modul sensor. Kemudian melakukan perancangan perangkat lunak yang berupa pembuatan program pada *software* mikrokontroler untuk pembacaan sensor dan aksi motor *extruder*.
2. Pencarian parameter menggunakan metode kedua Ziegler – Nichols dengan cara hanya memberikan nilai k_p saja dari yang terkecil hingga terbesar sampai mendapatkan osilasi yang berkesinambungan (secara terus menerus). Dari osilasi berkesinambungan didapatkan nilai k_{cr} dan p_{cr} , kemudian dilanjutkan dengan pencarian parameter kontrol PID melalui tabel penalaan Ziegler–Nichols sehingga didapatkan parameter kontroler PID sebesar $K_p = 3$, $K_I = 4.28$, dan $K_d = 0,525$. Kemudian pengujian tanpa gangguan atau respon pengendalian kecepatan menggunakan kontroler PID dengan *setpoint* 2cm/s, diperoleh e_{ss} (*error steady state*) sebesar 1,91% dan *settling time* sebesar 2600 ms dan hasil pengujian keseluruhan dengan gangguan terhadap kontroler PID pada kecepatan menunjukkan bahwa respon sistem dapat kembali pada keadaan *steady state* dan mengalami proses *recovery* (pemulihan) dalam waktu sebesar 1600 ms.

6.2. Saran

1. Menggunakan metode selain PID untuk sebagai pengendalian kecepatan bahan pada *extruder printer* 3D.
2. Dapat dikembangkan dengan menggunakan jenis bahan selain ABS, seperti PLA.



DAFTAR PUSTAKA

- Al-Farisi, R. 2011. *Implementasi Kontroler Proporsional Integral Differensial (PID) Untuk Pergerakan Robot Lengan ROB2R Pada Simulasi Pemindahan Objek*. Skripsi. Teknik Elektro. Universitas Brawijaya. Malang.
- Amstrom, K. J. & Hagglund, Tore. 1995. *PID Controllers: Theory, Design and Tuning*. Instrument Society of Amerika: Research Triangle Park.
- Evans, Brians. 2012. *Practical 3D Printer: The science and Art of 3D Printing*. New York: Springer.
- Gouldsen, C and Blake, P. 1998. *Investment Casting Using FDM/ABS Rapid Prototype patterns*. Rapid Toolworx Stratasys Inc.
- Gunterus, Frans. 1994. *Falsafah Dasar: Sistem Pengandali Proses*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Kelly, James Floyd & Hood-Daniel, Patrick. 2011. *Printing in Plastick: Build Your Own 3D Printer*. New York: Springer.
- Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. Jakarta: Erlangga.
- Soemarwanto. 2006. *Dasar Konversi Energi*. Teknik Elektro. Universitas Brawijaya
- Suryani, R.D. 2013. *Rangkaian Motor DC*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Wain, Yosep Suban. <https://asro.wordpress.com/2009/01/16/diskritisasi/>
(Diakses pada 16 Desember 2015)
- Zuhal. 2004. *Dasar Tenaga Listrik*. Bandung : ITB Press





LAMPIRAN



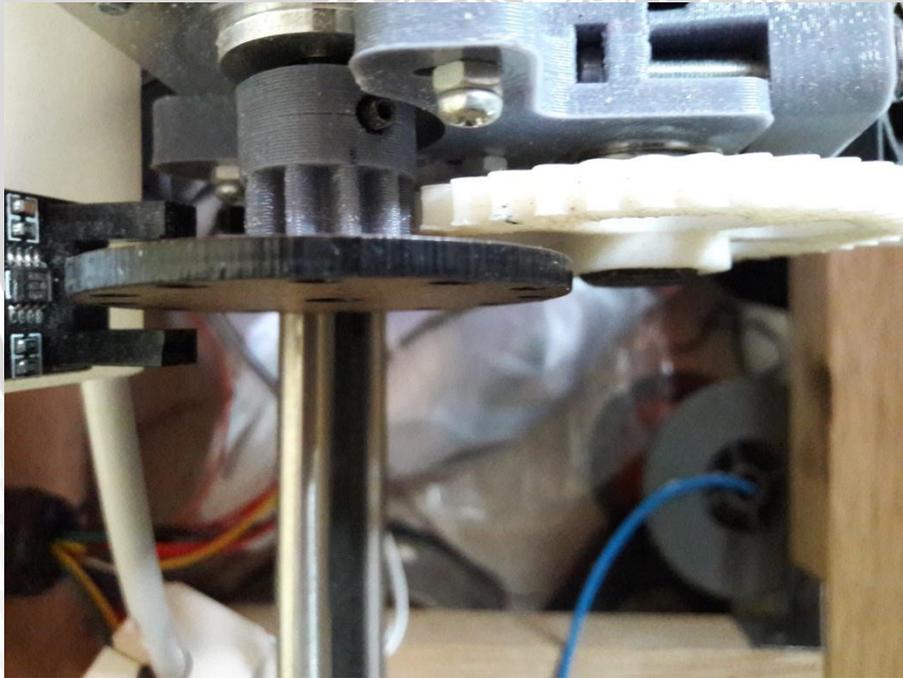
LAMPIRAN 1

Foto Alat





Gambar Gear Extruder Tampak Samping



Gambar Gear Extruder Tampak Atas



Gambar Extruder Set Keseluruhan



LAMPIRAN 2
Program Keseluruhan



```

/*
*====MOTOR====
Baca Putaran Motor ==> PIN 2
PWM Motor      ==> PIN 11
LCD
RS PIN 8
RW PIN GND
E PIN 9
D4 PIN 10
D5 PIN 11
D6 PIN 12
D7 PIN 13
*/

#include "Timer.h"
#include <LiquidCrystal.h>
#define pwm 11
Timer t;
float pulsa, pulsa1;
int kecepatan, kecepatan1;
unsigned char i;
int pwmMotor, pwmMotor1;
int error = 0, lastError;
int error1 = 0, lastError1;
double Output, Output1, Setpoint=100;
float kp, ki, kd;
float kp1, ki1, kd1;
float Ts=100;//satuan = milisecond/100

LiquidCrystal lcd (8, 9, 10, 11, 12, 13);

void setup()
{
  kp = 3;
  ki = 0.15;
  kd = 0.037;

  lcd.begin(16,2);
  Serial.begin(9600);

  Serial.print("KP:");
  Serial.println(kp);
  Serial.print("KI:");
  Serial.println(ki);
  Serial.print("KD:");
  Serial.println(kd);

  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("SKRIPSI CALVIN");
  delay(3000);

  pinMode(pwm,OUTPUT);
  pinMode(pwm1,OUTPUT);

void compute()
{
  error = Setpoint - kecepatan;
  Output = (kp * error) + ((ki*Ts) *(error + lastError)) + ((kd/Ts)*(error - lastError));

  if(Output > 1)pwmMotor=pwmMotor + Output;
  else if (Output < -1)pwmMotor= pwmMotor + Output;

```

```
else pwmMotor = pwmMotor;
if(pwmMotor<0)pwmMotor=0;
else if(pwmMotor>255)pwmMotor=255;
lastError = error;
}

void hitung_pulsa()
{
  pulsa++;
}

void sensor()
{
  Time1 = millis();
  Time3 = Time1 - Time2;
  if (Time3 >= 120)
  {
    Time2 = millis ();
    Input = pulses;
    Data = (((Input*2)/3)/60)*2.512);
    pulses = 0;
  }
}

void loop()
{
  sensor();
  compute();
  analogWrite(pwm,pwmMotor);

  lcd.setCursor(3,0);
  lcd.print(kecepatan);
  lcd.setCursor(7,0);
  lcd.print("PWM:");

  Serial.print(kecepatan);
  Serial.print("\t");
  Serial.println(pwmMotor);
  lcd.clear();
}
```



LAMPIRAN 3

Data Sheet



1. PENDAHULUAN

Embedded Module Series (EMS) 5 A H-Bridge merupakan *driver H-Bridge* yang didesain untuk menghasilkan *drive* 2 arah dengan arus kontinyu sampai dengan 5 A pada tegangan 5 Volt sampai 40 Volt. Modul ini dilengkapi dengan rangkaian sensor arus beban yang dapat digunakan sebagai umpan balik ke pengendali. Modul ini mampu men-*drive* beban-beban induktif seperti misalnya relay, solenoida, motor DC, motor stepper, dan berbagai macam beban lainnya.

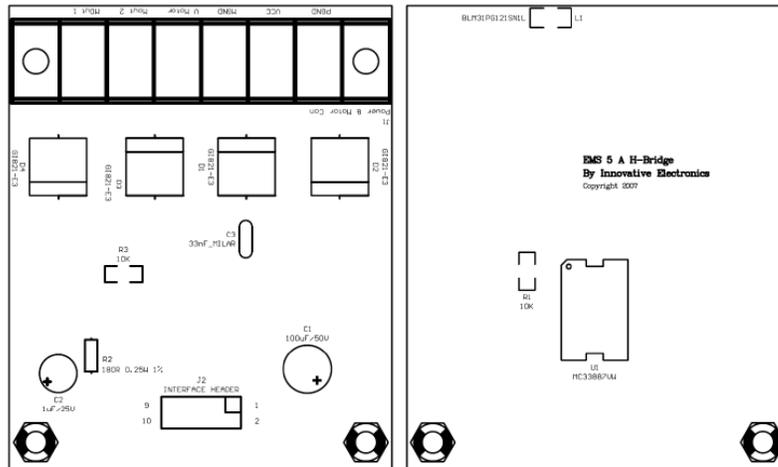
2. SPESIFIKASI

- Terdiri dari 1 *driver full H-Bridge* beserta rangkaian *current sense*.
- Mampu melewati arus kontinyu 5 A.
- *Range* tegangan output untuk beban: 5 V sampai 40 V.
- Input kompatibel dengan level tegangan TTL dan CMOS.
- Jalur catu daya input (VCC) terpisah dari jalur catu daya untuk beban (V Mot).
- Output tri-state.
- Dilengkapi dengan dioda eksternal untuk pengamanan beban induktif.
- Frekuensi PWM sampai dengan 10 KHz.
- *Active Current Limiting*.
- Proteksi hubungan singkat.
- Proteksi *overtemperature*.
- *Undervoltage Shutdown*.

Catatan!

Untuk spesifikasi yang lebih detail dapat dilihat pada *datasheet IC* yang telah disertakan.

3. TATA LETAK KOMPONEN



4. KETERANGAN ANTARMUKA

Modul *H-Bridge* memiliki 1 set *header* (*J2*) dan 1 set terminal konektor (*J1*). Pada bagian ini akan dijelaskan deskripsi dan fungsi dari masing-masing *header* dan konektor tersebut.

Interface Header (*J2*) berfungsi sebagai input untuk antarmuka dengan input-output digital serta output analog dari modul *H-Bridge*. Berikut deskripsi dari masing-masing pin pada **Interface Header**:

No. Pin	Nama	I/O	Fungsi
1	MIN1	I	Pin input untuk menentukan output MOUT 1
2	MIN2	I	Pin input untuk menentukan output MOUT 2
3	MSTAT1	O	Output digital yang melaporkan adanya kondisi <i>fault</i> pada modul. Berlogika Low jika ada <i>fault</i> pada modul atau output
4	MEN	I	Pin <i>enable</i> untuk output <i>H-Bridge</i> (MOUT 1 dan MOUT 2)
5	MCS	O	Output tegangan analog yang berbanding lurus dengan arus beban (<i>Range</i> output 0 – 2,5 Volt)
6	MSLP	I	Pin input untuk mengatur kerja modul <i>H-Bridge</i> . Diberi logika High untuk <i>Full Operation</i> , diberi logika Low untuk <i>Mode Sleep</i>
7,9	VCC	-	Terhubung ke catu daya untuk input (5 Volt)
8,10	PGND	-	Titik referensi untuk catu daya input

Arus (dalam Ampere) yang dilewatkan oleh *H-Bridge* dapat dihitung dengan rumus:

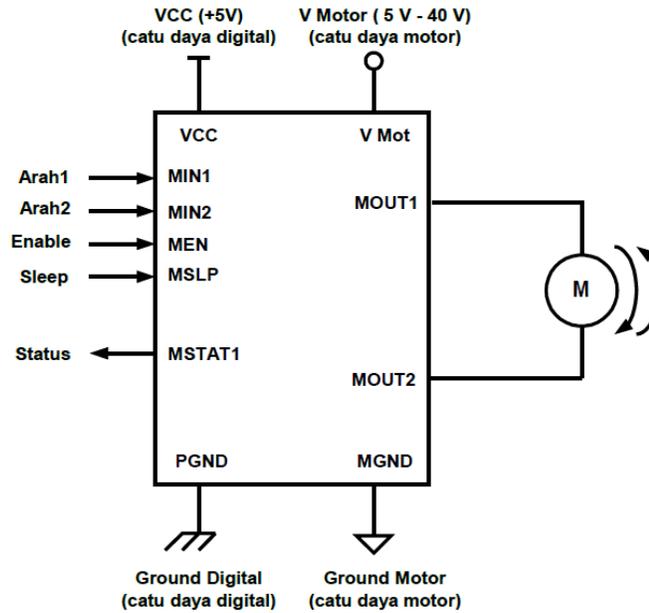
$$I = \frac{\text{Tegangan output pada pin MCS}}{180} \times 375$$

Power & Motor Con (*J1*) berfungsi sebagai konektor untuk catu daya dan beban. Berikut deskripsi dari masing-masing terminal pada **Power & Motor Con**:

Nama	Fungsi
PGND	Titik referensi untuk catu daya input
VCC	Terhubung ke catu daya untuk input (5 Volt)
MGND	Titik referensi untuk catu daya output ke beban
V MOTOR (V MOT)	Terhubung ke catu daya untuk output ke beban
MOUT 2	Output ke beban dari <i>half H-Bridge</i> kedua
MOUT 1	Output ke beban dari <i>half H-Bridge</i> pertama

5. CONTOH KONEKSI

Sebuah modul H-Bridge 5A dapat digunakan untuk mengatur kerja 1 buah motor DC secara dua arah. Contoh koneksinya dapat dilihat pada gambar berikut ini:



6. TABEL KEBENARAN

Status kerja modul H-Bridge	Input				Status Flag MSTAT1	Output	
	MSLP	MEN	MIN1	MIN2		MOUT 1	MOUT 2
Forward	H	H	H	L	H	V MOT	MGND
Reverse	H	H	L	H	H	MGND	V MOT
Freewheeling Low	H	H	L	L	H	MGND	MGND
Freewheeling High	H	H	H	H	H	V MOT	V MOT
Free Running Stop	H	L	X	X	L	Z	Z
MIN1 tidak terhubung	H	H	Z	X	H	V MOT	X
MIN2 tidak terhubung	H	H	X	Z	H	X	V MOT
MEN tidak terhubung	H	Z	X	X	L	Z	Z
Undervoltage ¹	H	X	X	X	L	Z	Z
Overtemperature ¹	H	X	X	X	L	Z	Z
Short Circuit ¹	H	X	X	X	L	Z	Z
Mode Sleep	L	X	X	X	H	Z	Z

¹ Deskripsi lebih jelas tentang status kerja tersebut dapat dilihat pada datasheet IC yang telah disertakan.

Keterangan:

H = High

L = Low

X = don't care

Z = High Impedance (Tri-state)

7. PROSEDUR TESTING

7.1 Tanpa Motor

1. Hubungkan sumber catu daya untuk input (VCC) dan catu daya untuk beban (V Mot).
2. Lakukan pengujian dengan memberikan logika High (+5V) atau Low (0V) pada bagian input (**MIN1**, **MIN2**, **MEN**, dan **MSLP**) sesuai dengan tabel kebenaran pada **Bagian 6**.
3. Bagian output (**MOUT 1**, **MOUT 2**, dan **MSTAT1**) akan menghasilkan tegangan keluaran sesuai dengan fungsi-fungsi yang tercantum tabel kebenaran tersebut.

7.2 Dengan Motor

1. Hubungkan modul H-Bridge dengan beban motor seperti pada **Bagian 5**.
2. Hubungkan sumber catu daya untuk input (VCC) dan catu daya untuk beban (V Mot).
3. Lakukan pengujian dengan memberikan logika High (+5V) atau Low (0V) pada bagian input (**MIN1**, **MIN2**, **MEN**, dan **MSLP**) sesuai dengan tabel kebenaran pada **Bagian 6**.
4. Bagian output (**MOUT 1**, **MOUT 2**, dan **MSTAT1**) akan menghasilkan tegangan keluaran dan motor akan bekerja sesuai dengan fungsi-fungsi yang tercantum tabel kebenaran tersebut.

◆ Terima Kasih atas kepercayaan Anda menggunakan produk kami, bila ada kesulitan, pertanyaan atau saran mengenai produk ini silakan menghubungi technical support kami : support@innovativeelectronics.com



Lampiran
Skema EMS 5 A H-Bridge

