

**SISTEM PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR DC PADA ALAT
BALL MILL MENGGUNAKAN KONTROLER PID**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK KONTROL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MOHAMAD KHARIST ALIM

NIM. 145060301111036

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018



repository.ub.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN
SISTEM PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR DC PADA ALAT
BALL MILL MENGGUNAKAN KONTROLER PID

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK KONTROL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MOHAMAD KHARIST ALIM

NIM. 145060301111036

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 2 November 2018

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dosen Pembimbing

Ir. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D,IPM

NIP. 19730520 200801 1 013

Dr.Ir. Bambang Siswojo ,M.T.

NIP. 19621211 198802 1 001





LEMBAR PENGESAHAN

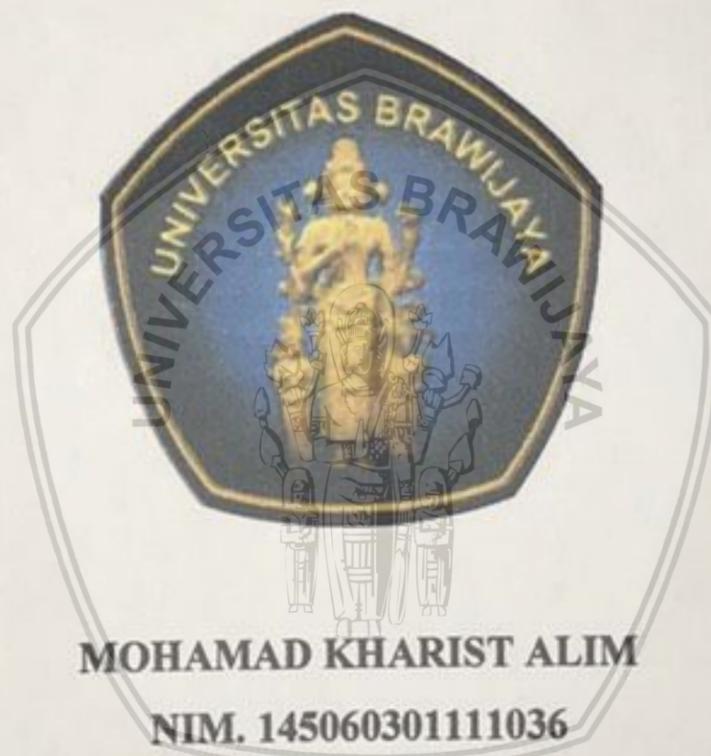
**SISTEM PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR DC PADA ALAT
BALL MILL MENGGUNAKAN KONTROLER PID**

repository.ub.ac.id

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK KONTROL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 2 November 2018

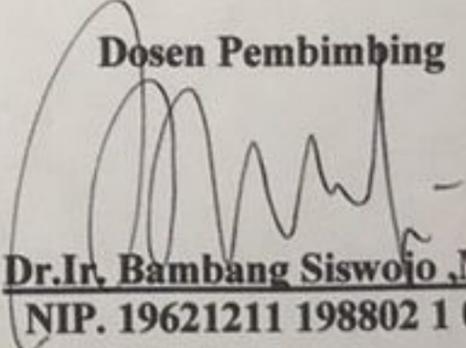
Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Ir. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D,IPM
NIP. 19730520 200801 1 013

Dosen Pembimbing



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

JUDUL SKRIPSI :

SISTEM PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR DC PADA ALAT BALL MILL
MENGUNAKAN KONTROLER PID

Nama Mahasiswa : Mohamad Kharist Alim

NIM : 145060301111036

Program Studi : Teknik Elektro

Konsentrasi : Teknik Kontrol

KOMISI PEMBIMBING :

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

TIM DOSEN PENGUJI :

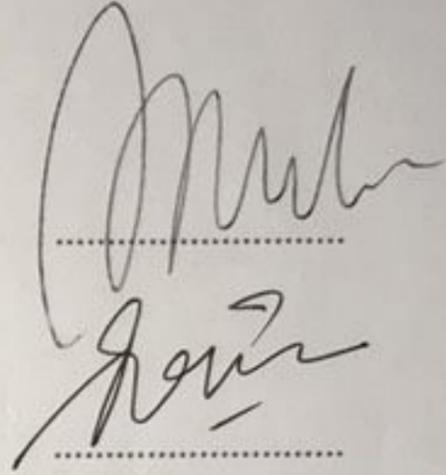
Dosen Penguji 1 : Goegoes Dwi Nusantoro, S.T., M.T.

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

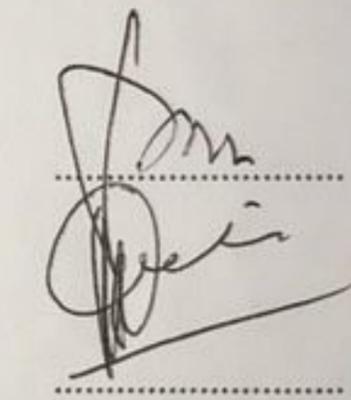
Dosen Penguji 3 : Ir. Purwanto, M.T.

Tanggal Ujian : 26 Oktober 2018

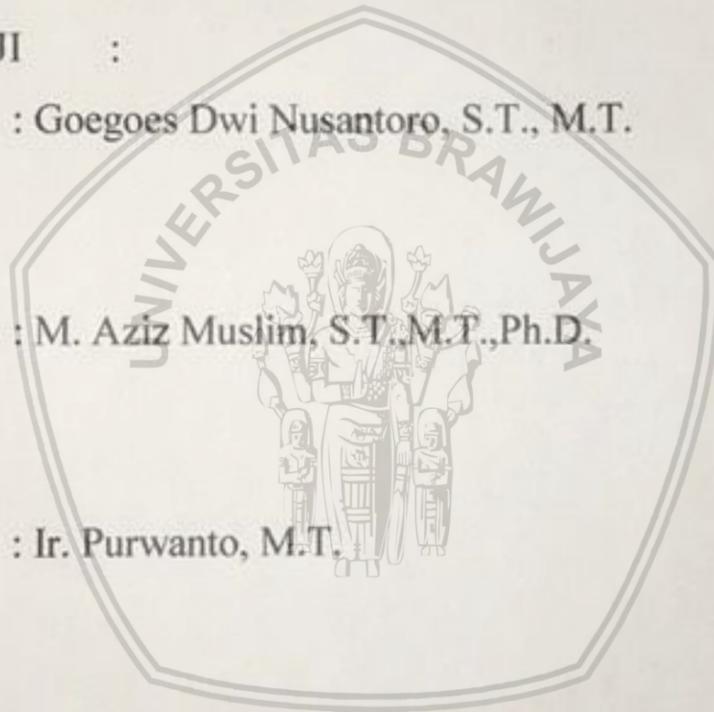
SK Penguji : No. 2417 Tahun 2018



.....



.....



repositori.bub.ac.id

UNIVERSITAS
BRAWIJAYA

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).

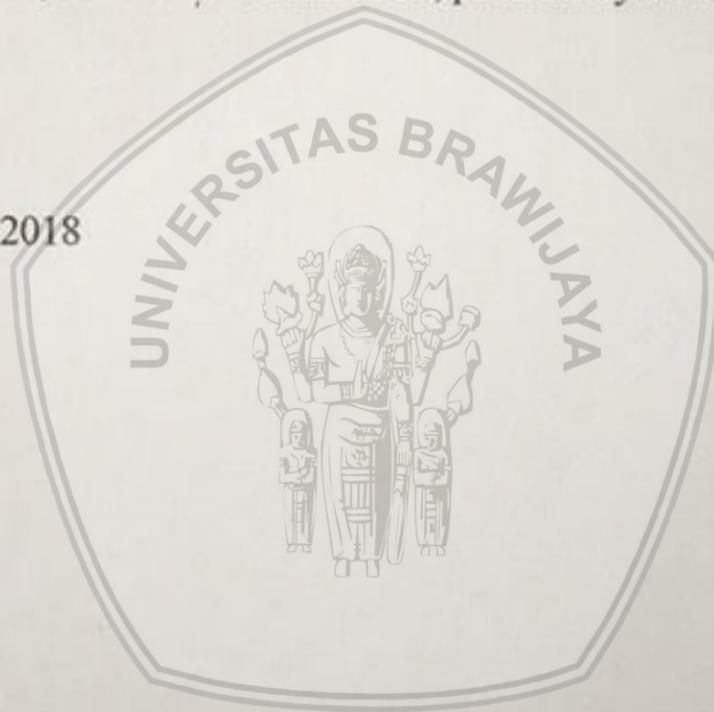
Malang, 2 November 2018

Mahasiswa,



Mohamad Kharist Alim

NIM. 145060301111036



RINGKASAN

Mohamad Kharist Alim, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Oktober 2018, *Sistem Pengontrolan Kecepatan Motor DC Pada Alat Ball Mill Menggunakan Kontroler PID*, Dosen Pembimbing: Bambang Siswojo.

Indonesia sebagai negara tropis memiliki sumber daya alam yang sangat berlimpah seperti buah kelapa (*cocos nucifera*) yang pemanfaatannya masih sangat terbuka untuk dikaji dan dikembangkan lebih lanjut untuk dapat dimanfaatkan secara optimal. Hal ini juga mengingat bahwa meskipun hampir semua bagian dari buah kelapa telah diambil manfaatnya namun banyak pula yang terbuang menjadi sampah seperti bagian serabut dan tempurungnya. Salah satu pemanfaatan tempurung kelapa adalah dijadikan sebagai bahan bakar arang. Arang tempurung kelapa biasanya diolah lebih lanjut menjadi briket dan hingga saat ini digunakan oleh masyarakat untuk keperluan rumah tangga, usaha maupun industri. Pengontrolan kecepatan pada alat Ball Mill menggunakan motor DC menyempurnakan alat penghalus arang yang masih diayak secara manual. Hal tersebut diharapkan memiliki proses tingkat efisiensi yang lebih baik. Digunakan Kontroler PID untuk mengurangi kesalahan, sehingga putaran motor dapat sesuai dengan kecepatan yang diinginkan. Pada skripsi ini digunakan metode Ziegler-Nichols, dalam pembuatannya digunakan Arduino Uno, sensor *Hall Effect*, motor DC dan Driver motor L298N. Dari perancangan, pengujian dan pengamatan yang telah dilakukan pada penelitian sistem pengendalian kecepatan maka dapat diambil kesimpulan data respons sistem yang diperoleh dari pengujian dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols, maka parameter PID dapat ditentukan dengan gain $K_p = 5,12$; $K_i = 1,35$; $K_d = 4,86$. Pada pengujian dengan memberikan gangguan berupa perubahan beban sementara, terjadi perubahan kecepatan pada kondisi setimbang dengan nilai *time overshoot* sebesar 1,3 s, waktu mencapai *steady state* yaitu 1,8 s, *overshoot* sebesar 13 % dan *error steady state* sebesar 1,5%, serta secara keseluruhan sistem dapat kembali pada keadaan *steady* dan mampu memberikan respon sistem yang baik ketika terjadinya gangguan dengan *recovery time* sebesar 0,25 s. Jadi hasil pengujian ini menunjukkan bahwa Arduino uno dengan metode kontrol PID menghasilkan respon sesuai dengan yang diharapkan dan mampu diaplikasikan pada alat Ball Mill.

Kata Kunci – Kontroler PID, Sensor Hall Effect, Alat Ball Mill, Sistem Pengontrolan Kecepatan.



SUMMARY

Mohamad Kharist Alim, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering University of Brawijaya, October of 2018. DC Motor Speed Control System on Ball Mill Tools Using a PID Controller. Academic Supervisor: Bambang Siswojo.

Indonesia as a tropical country has abundant natural resources such as coconuts (*cocos nucifera*) whose utilization is still very open to be studied and further developed to be used optimally. This also remembers that even though almost all parts of the coconut fruit have been taken advantage of but many are also wasted into waste such as the fibers and shells. One of the uses of coconut shell is used as charcoal fuel. Coconut shell charcoal is usually further processed into briquettes and is currently used by the community for household, business and industrial purposes. Speed control on Ball Mill equipment using DC motors perfects the charcoal refiner that is still sieved manually. It is expected to have a better process of efficiency level. Used PID Controller to reduce errors, so that the motor rotation can match the desired speed. In this paper the Ziegler-Nichols method is used. In its manufacture, Arduino Uno, Hall Effect sensor, DC motor and L298N motor driver are used. From the design, testing and observations that have been made on the speed control system research, it can be concluded that the system response data obtained from testing using the Ziegler-Nichols method, PID parameters can be determined with a gain of $K_p = 5,12$; $K_i = 1,35$; $K_d = 4,86$. In testing by giving a disturbance in the form of a temporary load change, there was a change in speed in the equilibrium condition with a time overshoot of 1,3 s, a steady state reach time of 1,8 s, an overshoot of 13% and an error steady state of 1,5%, and the system as a whole could return steady and able to provide a good system response when there is interference with the recovery time of 0,25 s. So the results of this test indicate that Arduino uno with PID control method produces the response as expected and is able to be applied to the Ball Mill tool.

Keywords – PID Controller, Hall Effect Sensor, Ball Mill Tool, Speed Control System.



PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim. Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas segala petunjuk dan nikmat-Nya lah skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi berjudul “*SISTEM PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR DC PADA ALAT BALL MILL MENGGUNAKAN KONTROLER PID*” ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, dan adik saya yang selalu menjadi motivator dalam pengerjaan skripsi ini.
2. Saudara-saudara saya di Rembang yang selalu memberi motivasi untuk bisa mempercepat pengerjaan skripsi ini.
3. Bapak Ir. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPM. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Ibu Ir. Nurussa'adah, M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Bapak Ali Mustofa, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Sarjana Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
6. Bapak Ir. Purwanto, M.T. selaku Ketua Kelompok Dosen Konsentrasi Teknik Kontrol Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
7. Bapak Dr.Ir Bambang Siswojo, M.T. selaku Dosen Pembimbing atas segala bimbingan, pengarahan, saran, dan kritik yang telah diberikan selama proses pengerjaan skripsi.
8. Segenap dosen pengajar dan staff administrasi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
9. Sahabat-sahabat Kontrakan Kembang Turi (wafi, rizal, asroful, aji, bayu, dan izam) dalam memberikan semangat dan saran dalam pengerjaan skripsi.
10. Teman-teman sebimbingan Gio dan Hilmi atas motivasi yang telah diberikan.
11. Dwi Retnoningrum dalam memberikan semangat, saran, dan bantuannya dalam pengerjaan skripsi.
12. Teman-teman Konsentrasi Teknik Kontrol Universitas Brawijaya.



13. Teman-teman DIODA 2014 atas segala bantuan dan kebersamaan yang telah diberikan selama masa studi.
14. Jimly Imamuddin dalam memberikan semangat dan motivasi untuk mempercepat pengerjaan skripsi ini.
15. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyelesaian skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan karena kendala dan keterbatasan dalam pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis berharap saran dan kritik yang membangun untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Malang, November 2018



Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ixx
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Arduino Uno.....	5
2.1.1 Catu Daya.....	6
2.1.2 Memori.....	7
2.1.3 <i>Input & Output</i>	7
2.1.4 Komunikasi.....	8
2.1.5 <i>Programming</i>	8
2.1.6 Perangkat Lunak.....	8
2.2 Motor DC.....	8
2.3 Sensor Hall Efeect.....	10
2.4 Kontroler.....	13
2.4.1 Kontroler Proporsional.....	14
2.4.2 Kontroler Integral.....	14
2.4.3 Kontroler Derivative.....	14
2.4.4 Kontroler PID.....	15
2.5 Driver L298N.....	16



BAB III.....	17
METODE PENELITIAN	17
3.1 Blok Diagram Sistem	17
3.2 Spesifikasi Alat.....	18
3.3 Penentuan Rpm berdasarkan Torsi	19
3.4 Mekanik Ball Mill	19
3.5 Penentuan Nilai Penguatan Kontroler	20
3.6 Perancangan Algoritma	23
BAB IV	25
HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Pengujian Driver Motor DC	25
4.1.1 Tujuan Pengujian	25
4.1.2 Peralatan Yang Digunakan.....	25
4.1.3 Langkah pengujian.....	25
4.1.4 Hasil Pengujian	26
4.2 Pengujian Motor DC.....	27
4.2.1 Tujuan Pengujian	27
4.2.2 Peralatan Yang Digunakan.....	27
4.2.3 Langkah pengujian	27
4.2.4 Hasil Pengujian	27
4.3 Pengujian Sensor Hall Effect.....	28
4.3.1 Tujuan Pengujian	28
4.3.2 Peralatan Yang Digunakan	28
4.3.3 Langkah pengujian.....	28
4.3.4 Hasil Pengujian	29
4.4 Pengujian Kurva S	30
4.4.1 Tujuan Pengujian	30
4.4.2 Peralatan Yang Digunakan	30
4.4.3 Langkah Pengujian	30
4.4.4 Hasil Pengujian	30
4.5. Pengujian Keseluruhan.....	32
4.5.1 Tujuan Pengujian	32
4.5.2 Peralatan Yang Digunakan	32
4.5.3 Langkah pengujian.....	32

4.5.4 Hasil Pengujian..... 32

BAB V 35

PENUTUP 35

5.1 Kesimpulan 35

5.2 Saran 35

DAFTAR PUSTAKA 37

LAMPIRAN 39



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Arduino Uno.....	6
Tabel 3.1 Aturan Metode 1 Ziegler-Nichols.....	22
Tabel 4.1 Aturan Metode 1 Ziegler-Nichols.....	31



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Arduino Uno dan Komponennya.....	5
Gambar 2. 2 Motor DC Sederhana.	9
Gambar 2. 3 Prinsip Kerja Motor DC.....	10
Gambar 2. 4 Bentuk Sensor Hall Effect	11
Gambar 2. 5 Bentuk Prinsip Kerja Hall Effect.....	13
Gambar 2. 6 Diagram Blok Sistem Kontrol PID.....	15
Gambar 2. 7 Modul L298N.	16
Gambar 3. 1 Blok Diagram Sistem.....	17
Gambar 3.2 Desain Alat	18
Gambar 3.3 Mekanik Ball Mill.....	20
Gambar 3.4 Kurva Respon <i>Ziegler-Nichols</i>	21
Gambar 3.5 <i>Flowchart</i> Perangkat Lunak.	23
Gambar 4.1 Diagram Blok Pengujian <i>Driver</i> Motor DC.	26
Gambar 4.2 Grafik Pengujian <i>Driver</i>	26
Gambar 4.3 Grafik Pengujian Motor DC	28
Gambar 4.4 Diagram Blok Pengujian Sensor.....	29
Gambar 4.5 Grafik Pengujian Sensor.....	29
Gambar 4.6 Grafik Kurva S.....	31
Gambar 4.7 Grafik Respon Sistem Keseluruhan.....	33

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Pengujian.....	39
Lampiran 2. Foto Alat	45
Lampiran 3. Data Sheet Arduino.....	46



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai negara tropis memiliki sumber daya alam yang sangat berlimpah seperti buah kelapa (*cocos nucifera*) yang pemanfaatannya masih sangat terbuka untuk dikaji dan dikembangkan lebih lanjut untuk dapat dimanfaatkan secara optimal. Hal ini juga mengingat bahwa meskipun hampir semua bagian dari buah kelapa telah diambil manfaatnya namun banyak pula yang terbuang menjadi sampah seperti bagian serabut dan tempurungnya. Salah satu pemanfaatan tempurung kelapa adalah dijadikan sebagai bahan bakar arang. Arang tempurung kelapa biasanya diolah lebih lanjut menjadi briket dan hingga saat ini digunakan oleh masyarakat untuk keperluan rumah tangga, usaha maupun industri.

Briket adalah sebuah blok bahan yang dapat dibakar yang digunakan sebagai bahan bakar untuk memulai dan mempertahankan nyala api. Dibandingkan dengan bahan arang, briket lebih praktis, menarik dan bersih. Pembentukan dan pemanfaatan briket arang tempurung kelapa memiliki dua keuntungan, yaitu yang pertama mendorong kajian teknologi energi pengganti yang terbarukan dan bisa menjadi salah satu penyelesaian masalah sampah lingkungan karena sumber utama bahan bakunya merupakan sampah tempurung kelapa.

Proses pembentukan briket arang tempurung kelapa melibatkan proses, penumbukan atau penghalusan. Dalam proses penumbukan atau penghalusan masih menggunakan alat manual yaitu dengan cara ditumbuk dan di ayak oleh manusia. Kelemahan dari alat tersebut adalah sering terjadi *human error* yang disebabkan pekerjaan yang berulang-ulang. Hal ini tentunya memiliki kerugian yang cukup banyak, karena membutuhkan waktu lama serta tidak jarang juga masih terdapat gumpalan material-material yang belum halus secara merata.

Ball mill merupakan alat industri yang paling sangat dibutuhkan untuk hasil yang maksimal dalam kategori penghancuran tingkat halus karena mesin grinding ball mill ini menggunakan teknologi Balls (bola – bola) yang di rancang sehingga memiliki luas permukaan per unit lebih dari rod untuk menghasilkan bahan baku material yang lebih halus.

Mesin ini biasanya digunakan dalam proses pembuatan cat, keramik, semen, kembang api, batu bara, pigmen, felspar untuk tembikar, dan serbuk laser untuk mesin cetak 3D.

Prinsip kerja Ball mill adalah memutar tabung berisi dengan peluru besi seperti bola – bola yang sudah diisikan di dalam mesin grinding tersebut terbuat dari baja. Proses penghaluskan terjadi karena mesin grinding yang berputar sehingga ball di dalamnya ikut menggelinding, menggerus dan menggiling seluruh material di dalam grinding sampai halus. Adapun keuntungan memakai mesin ball mill dalam proses produksi yaitu biaya instalasi rendah, energi listrik yang diperlukan relatif rendah, sangat cocok digunakan untuk produksi yang beroperasi secara terus menerus, bisa digunakan untuk segala jenis material dengan kepadatan tinggi.

Dengan pertimbangan berbagai referensi tentang Ball Mill maka pada penelitian ini kami ingin memberikan suatu inovasi dengan merancang suatu alat Ball Mill sederhana yang diharapkan dapat bermanfaat dalam hal menghaluskan suatu material-material yang masih kasar menjadi halus. Prinsip kerja pada alat Ball Mill sederhana ini yaitu memanfaatkan putaran tabung yang didalamnya terdapat bola-bola besi yang dapat menumbuk atau menghaluskan material-material kasar tersebut. Penggerak utama dari Ball Mill sederhana ini adalah dengan menggunakan motor DC.

Namun pada Ball Mill sederhana ini juga memiliki kelemahan yaitu masalah kecepatan dan beban yang selalu berubah pada tabung tersebut. Sehingga Jika kecepatan putaran terlalu cepat maka bola – bola yang ada di dalam mesin grinding akan menempel pada tabung, hal tersebut membuat proses penumbukan atau penghalusan tidak terjadi secara maksimal. Kemudian beban yang selalu berubah menyebabkan kecepatan pada putaran tabung menjadi tidak konstan, ketika beban terlalu berat maka kecepatan akan menjadi pelan sehingga masih ada gumpalan-gumpalan material yang tidak halus secara merata, maka diperlukan pengontrolan kecepatan agar didapatkan hasil yang maksimal.

Pada saat ini banyak teknologi yang sudah menggunakan alat kontrol otomatis. Hal tersebut disebabkan karena keinginan manusia untuk memenuhi kebutuhan dan mendapatkan fasilitas akan kemudahan dan efisiensi dalam berbagai bidang. Aplikasi teknik elektro khususnya pada bidang sistem kontrol dapat diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari untuk menciptakan kemudahan dan fasilitas bagi manusia. Oleh karena itu pada

penelitian ini membahas tentang pengontrolan kecepatan pada alat Ball Mill sederhana menggunakan kontroler PID.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimanakah merancang dan membuat alat Ball Mill sederhana.
- 2) Bagaimanakah merancang dan membuat sistem pengontrolan kecepatan pada Ball Mill sederhana.

1.3 Batasan Masalah

Dengan mengacu pada permasalahan yang telah dirumuskan, maka hal-hal yang berkaitan dengan alat akan diberi batasan sebagai berikut :

1. Plant yang diamati yaitu Ball Mill sederhana bertipe radial.
2. Pengontrolan hanya pada kecepatan putaran alat Ball Mill sederhana.
3. Sistem kontrol yang digunakan adalah menggunakan PID.
4. Pengontrolan kecepatan menggunakan arduino.
5. Sensor yang digunakan adalah sensor Hall Effect.
6. Tabung Ball Mill berukuran lebar 40 cm dan diameter 16,5 cm.
7. Setpoint yang diinginkan adalah 200 rpm.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membuat sistem kontrol kecepatan pada plant Ball Mill menggunakan kontroler PID.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dan diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Alat penumbuk dengan menggunakan metode Ball Mill mungkin untuk mempermudah dan mempersingkat waktu dibandingkan menggunakan alat penumbuk manual yang sering terjadi human error dan membutuhkan waktu lama..
- 2) Dengan mengatur kecepatan putaran tabung , ketika ada beban yang selalu berubah maka kecepatan putaran tetap konstan untuk menghaslkan material menjadi halus.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Arduino Uno

Mikrokontroler Arduino Uno adalah *board* berbasis mikrokontroler pada Atmega328. *Board* ini memiliki 14 digital *input / output* pin (dimana 6 pin dapat digunakan sebagai *output* PWM). 6 *input* analog, 16 MHz *osilator* kristal, koneksi *Usb*, jack listrik, tombol *reset*. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya mengubungkan *board* Arduino Uno ke komputer dengan menggunakan kabel *USB* atau sumber tegangan bisa didapat dari *adaptor* AC ke DC atau menggunakan baterai untuk menjalankannya. *Board* Arduino Uno memiliki fitur-fitur baru sebagai berikut:

- Pin *out* 1,0: ditambah *SDA* dan *SCL* pin yang dekat dengan pin *AREF* dan dua pin baru lainnya yang diletakkan dekat dengan pin *RESET*, *IOREF* yang memungkinkan *shield-shield* untuk menyesuaikan tegangan 5V dan dengan *Arduino Due* yang beroperasi dengan tegangan 3,3V. Yang kedua merupakan sebuah pin yang tak terhubung, yang disediakan untuk tujuan kedepannya.
- Sirkuit *RESET* yang lebih kuat
- *ATMega 16U2* menggantikan *8U2*

Board Arduino Uno dapat dilihat dalam gambar 2.1



Gambar 2.1 Arduino Uno dan Komponennya
(<https://eeepproject.com/arduino-uno-board/>)

Microcontroller	ATMega328
Operasi Voltage	5V
<i>Input Voltage</i>	7-12V (Rekomendasi)
<i>Input Voltage</i>	6-20 V (limits)
I/O	14 pin (6 pin untuk PWM)
Arus	50Ma
Flash Memory	32KB
Boatloader	SRAM 2KB
EEPROM	1KB
Kecepatan	16MHz

Deskripsi Arduino Uno secara umum dapat dilihat dalam tabel 2.1.

2.1.1 Catu Daya

Arduino Uno dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan catu daya eksternal. Sumber daya dipilih secara otomatis. Eksternal (non-USB) tegangan dapat diperoleh dari sebuah adaptor AC ke DC atau baterai. Adaptor dapat dihubungkan dengan mencolokkan sebuah *center-positive plug* yang panjangnya 2.1mm ke power jack dari *board*. Kabel *lead* dari baterai dapat dimasukkan ke dalam *header* pin *Ground* (Gnd) dan *Vin* dari konektor POWER.

Board Arduino Uno dapat beroperasi pada sebuah suplai eksternal dari 6 sampai 20 Volt. Jika di suplai kurang dari 7 volt, contohnya ketika pin 5V mendapat suplai kurang dari 5 volt dapat berakibat *board* arduino menjadi tidak stabil. Jika menggunakan lebih dari 12V, regulator tegangan bisa panas dan merusak *board*. Rentang yang dianjurkan adalah 7-12V. 10 Pin catu daya adalah sebagai berikut:

- VIN. Tegangan *input* ke *board* Arduino ketika menggunakan sumber daya eksternal (sebagai lawan dari 5 volt dari koneksi USB atau sumber daya lainnya diatur). Anda dapat menyediakan tegangan melalui pin ini, atau, jika memasok tegangan melalui colokan listrik, mengaksesnya melalui pin ini.
- 5V. Catu daya diatur digunakan untuk daya mikrokontroler dan komponen lainnya di *board*. Hal ini dapat terjadi baik dari VIN melalui regulator on *board*, atau diberikan oleh USB.

- 3,3V pasokan yang dihasilkan oleh regulator *on-board*. Menarik arus maksimum adalah 50 mA.
- GND.

2.1.2 Memori

ATMega328 memiliki 32KB dengan 0,5 KB digunakan untuk *loading file*. Ia juga memiliki 2 KB dari SRAM dan 1 KB dari EEPROM.

2.1.3 Input Dan Output

Masing-masing dari 14 pin digital pada Uno dapat digunakan sebagai *input* atau *output*, menggunakan fungsi *pinMode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead()*. Fungsi-fungsi tersebut beroperasi di 5 volt. Setiap pin dapat memberikan atau menerima maksimum 40 mA dan memiliki resistor *pull-up* internal dari 20-50K_Ω. Selain itu, beberapa pin memiliki fungsi:

- Serial: 0(RX) dan 1(TX). Digunakan untuk menerima (RX) dan menirirkan (TX) data TTL serial. Pin ini terhubung ke pin yang sesuai dari chip ATMega8U2 *USB-to-Serial* TTL.
- Eksternal interupsi : 2 dan 3. Pin ini dapat dikonfigurasi untuk memicu interupsi pada nilai yang rendah, tepi naik atau jatuh, atau perubahan nilai. Lihat *attach interrupt()* fungsi untuk rincian.
- PWM: 3, 5, 6, 9, 10 dan 11. Menyediakan 8-bit ouput PWM dengan analog *Write ()* fungsi.
- SPI: 10 (SS), 11 (mosi), 12 (MISO), 13 (SCK). Pin ini mendukung komunikasi SPI menggunakan perpustakaan SPI.
- LED : 13. Ada built-in LED terhubung ke pin digital13. Ketika pin adlah nilai TINGGI, LED menyala, ketika pin adalah RENDAH, itu *off*.Arduino Uno memilih 6 *input* analog, diberi label A0 melalui A5, masing-masing menyediakan 10 bit resolusi yaitu 1024 nilai yang berbeda. Secara *default* sistem mengukur dari tanah sampai 5 volt.
- TWI: A4 atau SDA pin dan A5 atau SCL pin. Mendukung komunikasi TWI.
- Aref. Referensi tegangan untuk *input* analog. Digunakan dengan *analog Reference ()*.
- *Reset*.

2.1.4 Komunikasi

Arduino Uno memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain, atau mikrokontroler lain. ATmega328 ini menyediakan UART TTL (5V) komunikasi serial, yang tersedia pada pin digital 0 (RX) dan 1(TX). Sebuah ATmega16U2 pada saluran *board* ini komunikasi serial melalui USB dan muncul sebagai com port virtual untuk perangkat lunak pada komputer. *Firmware* Arduino menggunakan USB *driver* standar COM, dan tidak ada *driver* eksternal yang dibutuhkan. Namun, pada *windows*, *file .inf* diperlukan. Perangkat lunak Arduino termasuk monitor serial yang memungkinkan data sederhana yang akan dikirim ke *board* Arduino. RX dan TX LED di *board* akan berkedip ketika data sedang dikirim melalui *chip USB-to-Serial* dan koneksi USB ke komputer. ATmega328 ini juga mendukung komunikasi I2C (TWI) dan SPI. Fungsi ini digunakan untuk melakukan komunikasi *interface* pada sistem.

2.1.5 Programming

Arduino Uno dapat diprogram dengan perangkat lunak Arduino. Pilih Arduino Uno dari *Tool* lalu sesuaikan dengan mikrokontroler yang digunakan. ATmega328 pada Arduino Uno memiliki *bootloader* yang memungkinkan anda untuk meng-*upload* program baru tanpa menggunakan *programmer hardware eksternal*. Cara berkomunikasi menggunakan protokol dari bahasa C. Sistem ini dapat menggunakan perangkat lunak FLIP Atmel (Windows) atau *programmer DFU* (Mac OS X dan Linux) untuk memuat *firmware* baru. Atau anda dapat menggunakan *header ISP* dengan *programmer eksternal*.

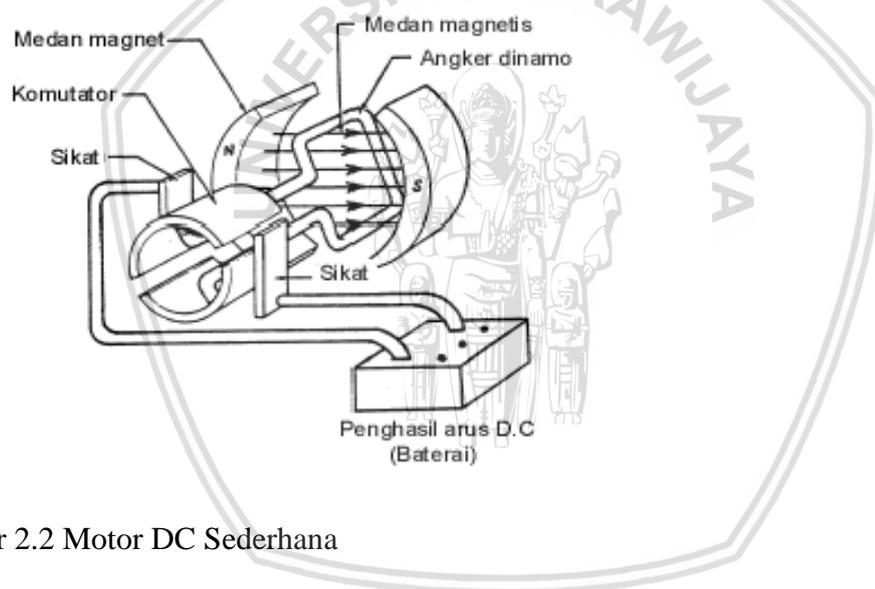
2.1.6 Perangkat Lunak

Lingkungan *open-source* Arduino memudahkan untuk menulis kode dan meng-*upload* ke *board* Arduino. Ini berjalan pada Windows, Mac OS X, dan Linux. Berdasarkan pengolahan, *avr-gcc*, dan perangkat lunak sumber terbuka lainnya.

2.2 Motor DC

Motor DC (Direct Current) adalah peralatan elektromagnetik dasar yang berfungsi untuk mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik yang desain awalnya diperkenalkan oleh Michael Faraday lebih dari seabad yang lalu (E. Pitowarno, 2006). Motor DC dikendalikan dengan menentukan arah dan kecepatan putarnya. Arah putaran motor DC adalah searah dengan arah putaran jarum jam (Clock Wise/CW) atau berlawanan arah

dengan arah putaran jarum jam (Counter Clock Wise/CCW), yang bergantung dari hubungan kutub yang diberikan pada motor DC. Kecepatan putar motor DC diatur dengan besarnya arus yang diberikan. Motor DC memerlukan suplai tegangan yang searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Kumparan medan pada motor dc disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika terjadi putaran pada kumparan jangkar dalam pada medan magnet, maka akan timbul tegangan (GGL) yang berubah-ubah arah pada setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan bolak-balik. Prinsip kerja dari arus searah adalah membalik fasa tegangan dari gelombang yang mempunyai nilai positif dengan menggunakan komutator, dengan demikian arus yang berbalik arah dengan kumparan jangkar yang berputar dalam medan magnet. Bentuk motor paling sederhana memiliki kumparan satu lilitan yang bisa berputar bebas di antara kutub-kutub magnet permanen.



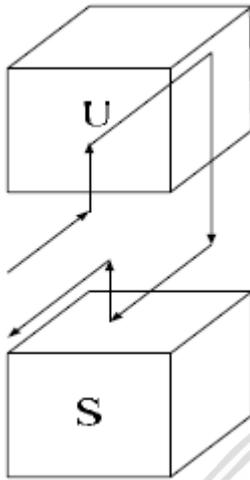
Gambar 2.2 Motor DC Sederhana

(Zuhal,1988)

Catu tegangan dc dari baterai menuju ke lilitan melalui sikat yang menyentuh komutator, dua segmen yang terhubung dengan dua ujung lilitan. Kumparan satu lilitan pada gambar di atas disebut angker dinamo. Angker dinamo adalah sebutan untuk komponen yang berputar di antara medan magnet.

Prinsip kerja motor DC yaitu jika arus lewat pada suatu konduktor, timbul medan magnet di sekitar konduktor. Arah medan magnet ditentukan oleh arah aliran arus pada konduktor. Pada motor DC, daerah kumparan medan yang dialiri arus listrik akan menghasilkan medan magnet yang melingkupi kumparan jangkar dengan arah tertentu.

Konversi dari energi listrik menjadi energi mekanik (motor) maupun sebaliknya berlangsung melalui medan magnet, dengan demikian medan magnet disini selain berfungsi sebagai tempat untuk menyimpan energi, sekaligus sebagai tempat berlangsungnya proses perubahan energi, daerah tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.3 Prinsip Kerja Motor DC

(Zuhal,1988)

Agar proses perubahan energi mekanik dapat berlangsung secara sempurna, maka tegangan sumber harus lebih besar daripada tegangan gerak yang disebabkan reaksi lawan. Dengan memberi arus pada kumparan jangkar yang dilindungi oleh medan maka menimbulkan perputaran pada motor.

2.3 Sensor Hall Effect

Sensor Hall Effect *adalah* komponen jenis transduser yang dapat mengubah informasi magnetik menjadi sinyal listrik untuk pemrosesan rangkaian elektronik selanjutnya. Sensor Efek Hall ini sering digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi kedekatan (*proximity*), mendeteksi posisi (*positioning*), mendeteksi kecepatan (*speed*), mendeteksi pergerakan arah (*directional*) dan mendeteksi arus listrik (*current sensing*). Sensor Magnetik yang terbuat dari bahan semikonduktor ini merupakan komponen populer pilihan para perancang elektronika untuk aplikasi-aplikasi non-contact mereka karena kehandalannya dan mudah dirawat. Sensor Efek Hall juga tahan terhadap air, debu dan getaran apabila dibungkus dengan pelindung yang benar.

Salah satu penggunaan Hall Effect Sensor ini adalah pada produk otomotif seperti mendeteksi posisi jok mobil, sensor sabuk pengaman, indikator minyak dan kecepatan roda untuk sistem pengereman ABS (*Anti-Lock Braking System*). Selain pada produk otomotif, Hall Effect Sensor ini juga dapat kita temukan di produk Smartphone (ponsel pintar) yang memiliki fitur deteksi Cover atau Penutup ponsel. Sensor Efek Hall ini merupakan perangkat atau komponen yang diaktifkan oleh medan magnet eksternal. Seperti yang kita ketahui bahwa medan magnet memiliki dua karakteristik penting yaitu densitas flux (flux density) dan Kutub (kutub selatan dan kutub utara). Sinyal masukan (Input) dari Sensor Efek Hall ini adalah densitas medan magnet disekitar sensor tersebut, apabila densitas medan magnet melebihi batas ambang yang ditentukan maka sensor akan mendeteksi dan menghasilkan tegangan keluaran (output) yang disebut dengan Tegangan Hall (VH).

Bentuk Sensor Efek Hall



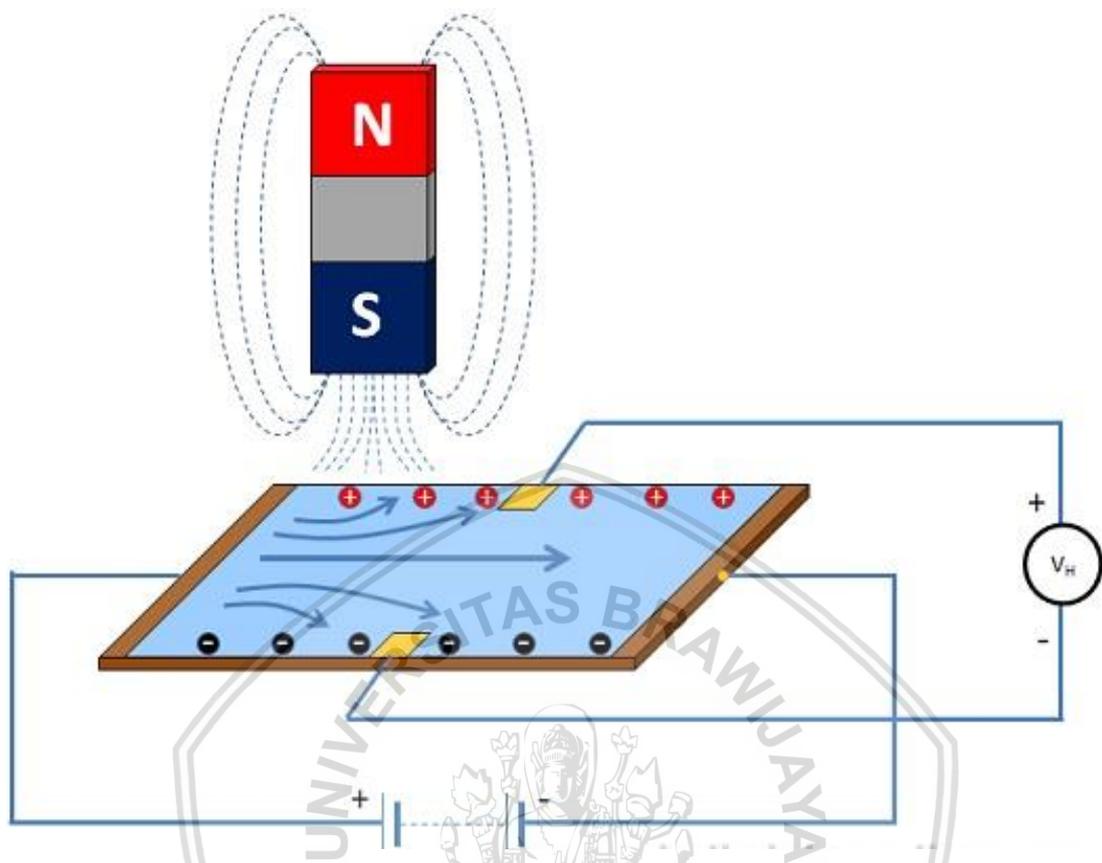
Gambar 2.4 Bentuk Sensor Hall Effect

(<http://teknikelektronika.com>)

Prinsip Kerja Sensor Efek Hall (Sensor Hall Effect Sensor Efek Hall pada dasarnya terdiri dari potongan tipis semikonduktor yang bertipe P dengan bentuk persegi panjang. Bahan semikonduktor yang digunakan biasanya adalah *gallium arsenide*(GaAs), *indium antimonide* (InSb), *indium phosphide* (InP) atau *indium arsenide* (InAs). Potongan tipis semikonduktor tersebut dilewati oleh arus listrik secara berkesinambungan (terus-menerus). Ketika didekatkan dengan medan magnet atau ditempatkan pada lokasi yang bermedan magnet, garis fluks magnetik akan menggunakan gaya pada semikonduktor tersebut untuk mengalihkan muatan pembawa (elektron dan holes) ke kedua sisi pelat semikonduktor. Gerakan pembawa muatan ini merupakan hasil dari gaya magnet yang melewati semikonduktor tersebut.

Karena Elektron dan Holes bergerak masing-masing ke kedua sisi semikonduktor, maka akan timbul perbedaan potensial diantara kedua sisi tersebut. Pergerakan elektron yang melalui bahan semikonduktor ini dipengaruhi oleh adanya medan magnet eksternal pada sudut atau posisi yang benar. Bentuk yang terbaik agar mendapatkan sudut atau posisi yang tepat adalah menggunakan bentuk persegi panjang yang pipih (*Flat Rectangular*) pada komponen Sensor Hall Effect ini.

Peristiwa berbelok atau beralihnya aliran listrik (elektron) dalam pelat konduktor karena pengaruh medan magnet ini disebut dengan Efek Hall (*Hall Effect*). Efek Hall ini ditemukan oleh Dr. Edwin Hall pada tahun 1879. Untuk dapat menghasilkan perbedaan potensial diseluruh perangkat, garis fluks magnetik harus tegak lurus (90 derajat) terhadap aliran listrik dengan kutub yang benar. Nama "*Hall*" ini diambil dari nama penemu efek ini yaitu Dr. Edwin Hall. Dasar dari prinsip kerja Efek Hall ini adalah gaya Lorentz yaitu gaya yang ditimbulkan oleh muatan listrik yang bergerak dalam suatu medan magnet (B).



Gambar 2.5 Bentuk Prinsip Kerja Hall Effect

(<http://teknikelektronika.com>)

2.4 Kontroler

Kontroler dalam sebuah sistem kontrol mempunyai kontribusi yang besar terhadap perilaku sistem. Hal itu disebabkan oleh tidak dapat dirubahnya komponen penyusun sistem tersebut. Artinya, karakteristik *plant* harus diterima sebagaimana adanya, perubahan perilaku sistem hanya dapat dilakukan melalui penambahan kontroler.

Salah satu fungsi kontroler adalah mengurangi sinyal *error*, sinyal *error* adalah perbedaan nilai *setpoint* dengan nilai *output plant*. Adalah nilai aktual yang terukur pada *output plant*. Semakin kecil nilai sinyal error maka kinerja sistem kontrol dinilai semakin baik. Prinsip kerja kontroler adalah membandingkan nilai output dengan nilai *setpoint*, menentukan nilai kesalahan dan akhirnya menghasilkan sinyal kontrol untuk meminimalkan kesalahan (Ogata, 1997).

2.4.1 Kontroler Proporsional

K_p berlaku sebagai *gain* (penguat) saja tanpa memberikan efek dinamik kepada kinerja kontroler. Jika,

$$G(s) = k_p$$

dengan k adalah konstanta. Jika,

$$u = G(s) \cdot e \text{ maka } u = K_p \cdot e$$

dengan K_p adalah Konstanta *Proportional*.

Penggunaan kontrol P memiliki berbagai keterbatasan karena sifat kontrol yang tidak dinamik ini. Walaupun demikian dalam aplikasi-aplikasi dasar yang sederhana kontrol P ini cukup mampu untuk memperbaiki respon transien khususnya *rise time* dan *settling time*.

2.4.2 Kontroler Integral

Jika $G(s)$ adalah kontrol I maka u dapat dinyatakan sebagai:

$$u(t) = [\int e(t)dt] K_i$$

dengan K_i adalah konstanta *Integral*, dan dari persamaan gambar 2.18, $G(s)$ dapat dinyatakan sebagai :

$$u = K_d [\Delta e / \Delta t]$$

Jika $e(T)$ mendekati konstan (bukan nol) maka $u(t)$ akan menjadi sangat besar sehingga diharapkan dapat memperbaiki *error*. Jika $e(T)$ mendekati nol maka efek kontrol I ini semakin kecil. Kontrol I dapat memperbaiki sekaligus menghilangkan respon *steady-state*, namun pemilihan K_i yang tidak tepat dapat menyebabkan respon transien yang tinggi sehingga dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. Pemilihan K_i yang sangat tinggi justru dapat menyebabkan *output* berosilasi karena menambah orde sistem.

2.4.3 Kontroler Derivative

Sinyal kontrol u yang dihasilkan oleh kontrol D dapat dinyatakan sebagai :

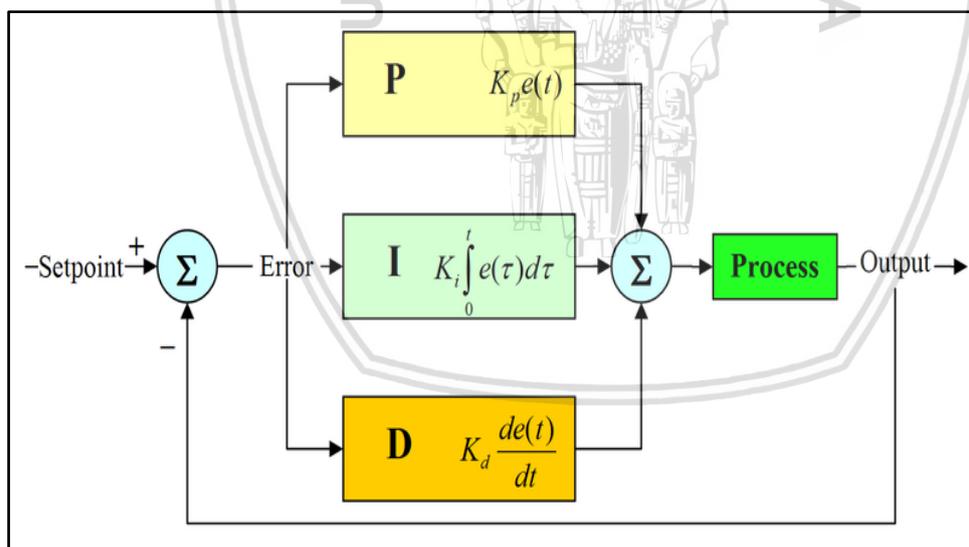
$$G(s) = s \cdot K_d$$

Dari persamaan pada gambar 2.9, nampak bahwa sifat dari kontrol D ini dalam konteks "kecepatan" atau rate dari *error*. Dengan sifat ini ia dapat digunakan untuk memperbaiki respon transien dengan memprediksi *error* yang akan terjadi. Kontrol *derivative* hanya berubah saat ada perubahan *error* sehingga saat *error* statis kontrol ini tidak akan bereaksi, hal ini pula yang menyebabkan kontroler *derivative* tidak dapat digunakan sendiri.

2.4.4 Kontroler PID

Aksi kontrol PID (*Proportional, Integral, Derivative*) banyak ditemukan di dunia industri dan satu-satunya strategi yang paling banyak diadopsi pada pengontrolan proses. Berdasarkan survei, 97% industri yang bergerak dalam bidang proses (seperti kimia, *pulp*, makanan, minyak, dan gas) menggunakan PID sebagai komponen utama dalam pengontrolannya. PID (dari singkatan bahasa Inggris: *Proportional-Integral-Derivative controller*) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut.

Komponen kontrol PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu *Proportional, Integral* dan *Derivative*.

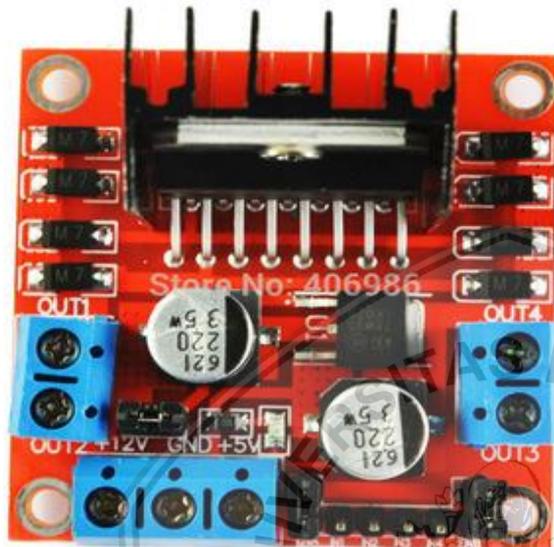


Gambar 2.6 Diagram Blok Sistem Kontrol PID (*Proportional, Integral dan Derivative*)

(<http://id.wikipedia.org/wiki/PID>)

2.5 Driver L298N

Modul pengendali motor DC yang digunakan adalah L298N. Secara garis besar, fungsi modul pengendali motor ini adalah untuk mengendalikan arah dan kecepatan putaran motor DC sesuai instruksi kendali dari Arduino Uno. Gambar koneksi modul pengendali motor L298N ditunjukkan dalam gambar 2.7.



Gambar 2.7 Modul L298N

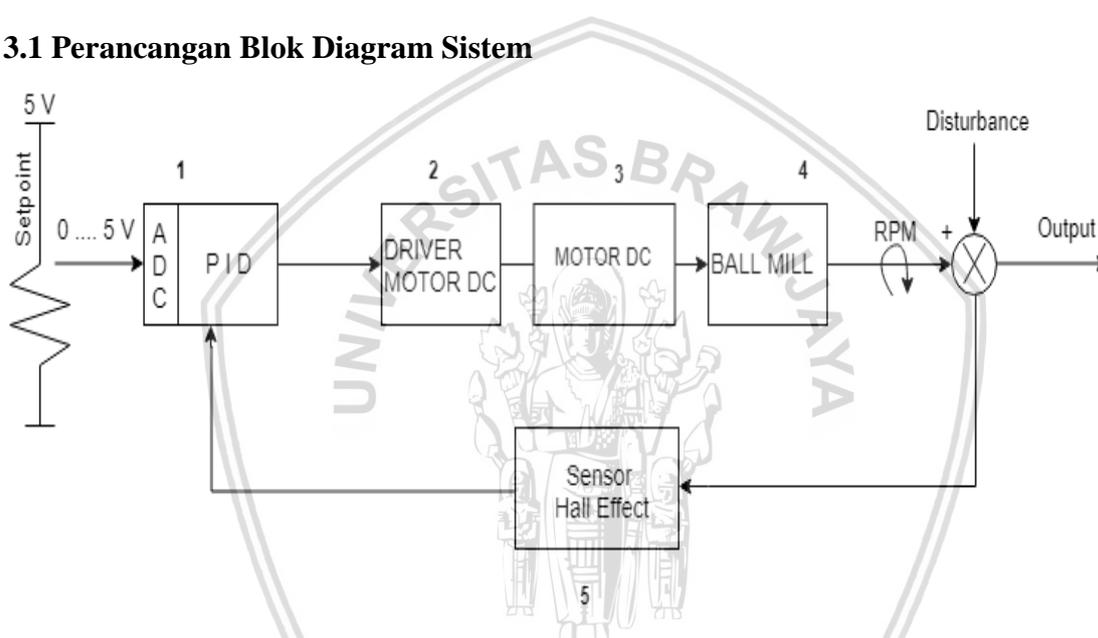
(<http://alibaba.com>)

BAB III

METODE PENELITIAN

Penyusunan skripsi ini dilakukan berdasarkan masalah yang bersifat aplikatif, yaitu perencanaan dan perealisasiian alat agar dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan yang mengacu pada rumusan masalah. Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan tujuan dari penelitian ini maka diperlukan langkah-langkah yang digunakan untuk merealisasikan masalah-masalah tersebut. Metode yang digunakan adalah sebagai berikut :

3.1 Perancangan Blok Diagram Sistem



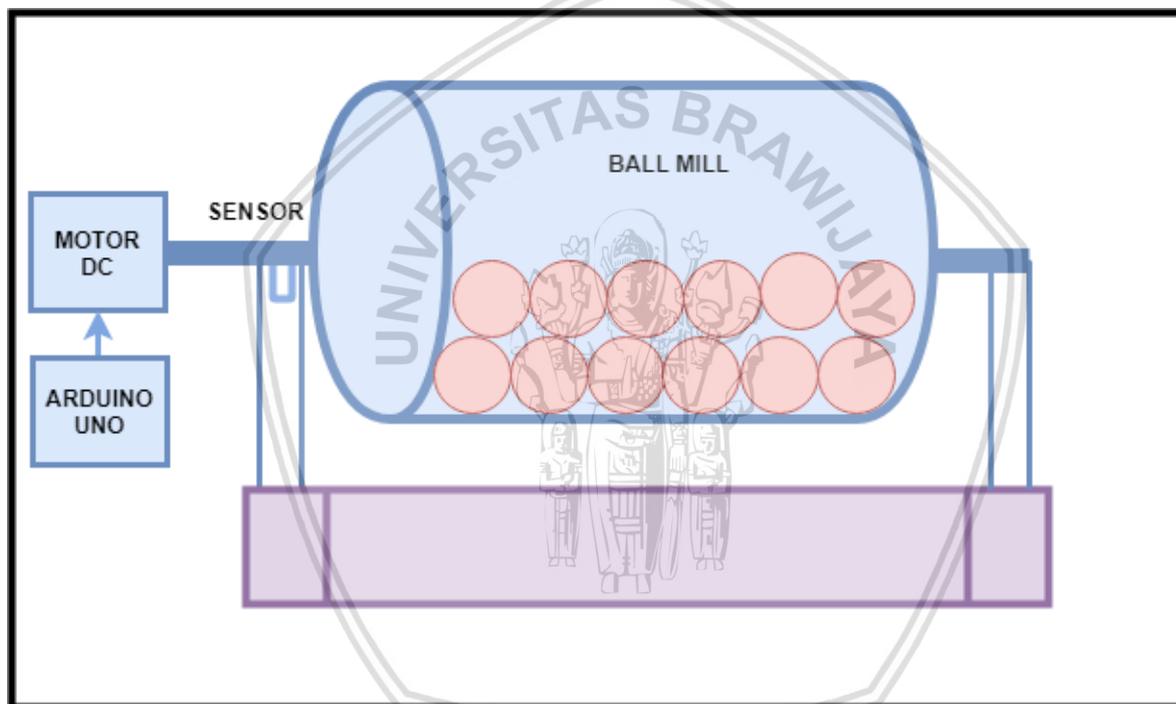
Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem

Keterangan Blok Diagram diatas adalah sebagai berikut:

1. PID Arduino berfungsi untuk Algoritma pid menerima tegangan analog dari setpoint untuk diubah oleh adc menjadi nilai berupa Rpm dan kemudian menerima pulsa dari *hall effect* sensor untuk diterjemahkan menjadi Rpm kemudian melakukan algoritma jadi *error* akan dikurangi.
2. Modul pengendali motor DC yang digunakan adalah L298N. Secara garis besar, fungsi modul pengendali motor ini adalah untuk mengendalikan arah dan kecepatan putaran motor DC sesuai instruksi kendali dari Arduino Uno. Gambar koneksi modul pengendali motor L298N

3. Motor DC dikendalikan dengan menentukan arah dan kecepatan putarnya. Kecepatan putar motor DC diatur dengan besarnya arus yang diberikan oleh masukan dari L298N.
4. Ball Mill merupakan sebuah plant yang akan diamati perubahan kecepatannya oleh sensor Hall Effect.
5. Sensor *hall effect*. Sensor *hall effect* berfungsi untuk mengatur kecepatan. Keluaran dari sensor berupa sinyal analog kemudian diubah menjadi sinyal digital oleh ADC. Keluaran dari sensor disebut sinyal *feedback*.

3.2 Spesifikasi Alat



Gambar 3.2. Desain alat

Desain *prototype* Ball Mill jenis radial ini mempunyai spesifikasi, yaitu:

1. Dimensi Ball Mill memiliki ukuran panjang 40 cm dan diameter 16,5 cm.
2. Tabung Ball Mill yang di gunakan yaitu jenis *radial*.
3. Kontroler menggunakan Arduino Uno.
4. Motor yang digunakan adalah Motor DC 24 Volt.
5. Bola-bola besi yang digunakan berjumlah 20 dengan berat masing-masing 100 gram.
6. Spesifikasi respon sistem dengan maksimal overshoot 15%

3.3 Penentuan Rpm berdasarkan Torsi

Proses penentuan Rpm yaitu sebagai berikut:

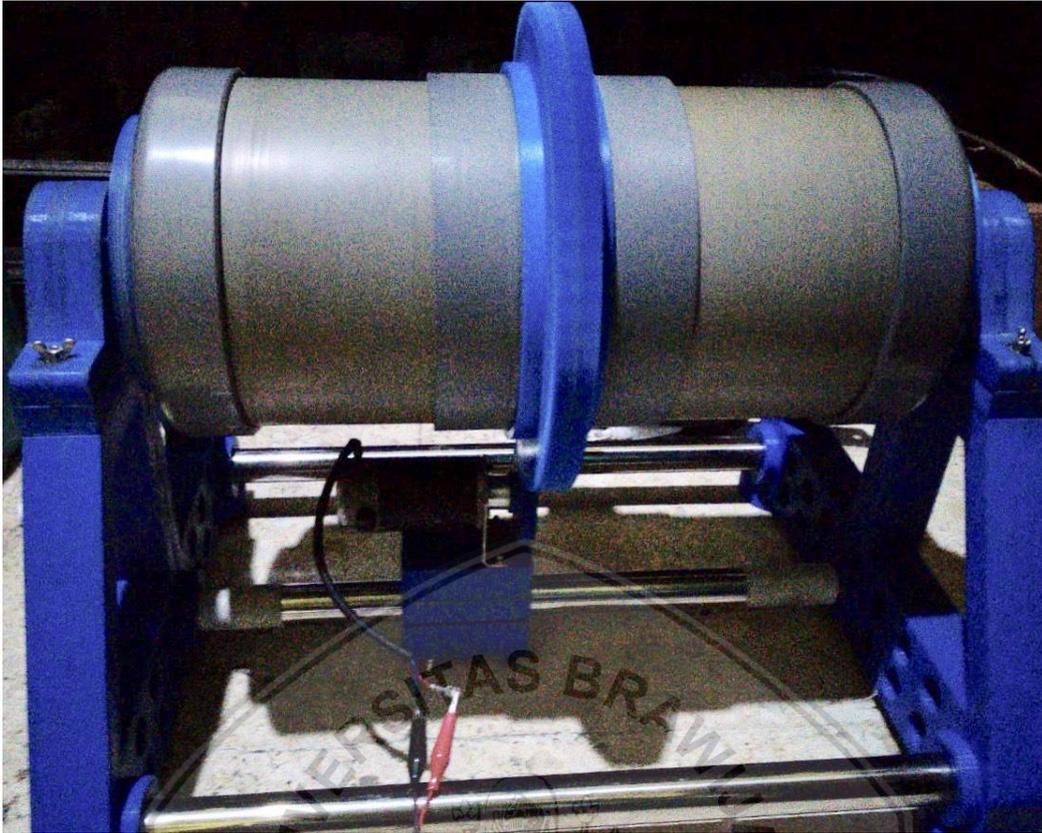
1. Mencari Torsi pada Plant Ball Mill dengan cara memberikan pemberat yang dihubungkan dengan batang yang memiliki panjang 10 cm.
2. Kemudian didapatkan hasil Torsi dengan perhitungan $T = F.L = 3,6 \text{ Kg} \cdot 10 \text{ cm} = 36 \text{ Kg.cm}$ kemudian dijadikan N.m menjadi 3,52 N.m.
3. Setelah didapatkan nilai Torsi maka selanjutnya yaitu mencari nilai P.
4. Mencari nilai P dengan menggunakan Rumus $P = V.I = 24 \text{ V} \cdot 5 \text{ A} = 120 \text{ watt}$
5. Kemudian 100 watt dikonversikan ke HP atau Horse Power menjadi 0,134 HP
6. Selanjutnya mencari nilai Rpm menggunakan rumus yaitu $N = \frac{5252 \times P}{T}$

Keterangan (N = Nilai Rpm , 5252 = Konstanta Daya motor dalam satuan HP, P = Daya dalam satuan HP atau Horse Power dan T = Torsi)

7. Perhitungan Nilai Rpm $N = \frac{5252 \times 0,134}{3,52} = 200 \text{ Rpm.}$
8. Jadi setpoint yang diinginkan yaitu 200 Rpm.

3.4 Mekanik Ball Mill

Perancangan sistem mekanik yaitu dengan membuat plant berupa tabung berbentuk radial yang akan digerakkan oleh motor DC. Ketika tabung bergerak maka akan terjadi perubahan kecepatan yang berubah-ubah karena adanya momen inersia dari bola-bola besi didalam tabung tersebut. Dengan menggunakan kontroler PID, dapat diuji kestabilan pada kecepatan putaran tabung Ball Mill yang dihasilkan. Sehingga kecepatan putaran tabung Ball Mill dapat diatur dengan kontroler PID agar kecepatan tetap/konstan ketika pembebanan berubah-ubah. Adapun rancangan mekanik pada keseluruhan dapat dilihat pada gambar 3.3 .



Gambar 3.3 Mekanik Ball Mill

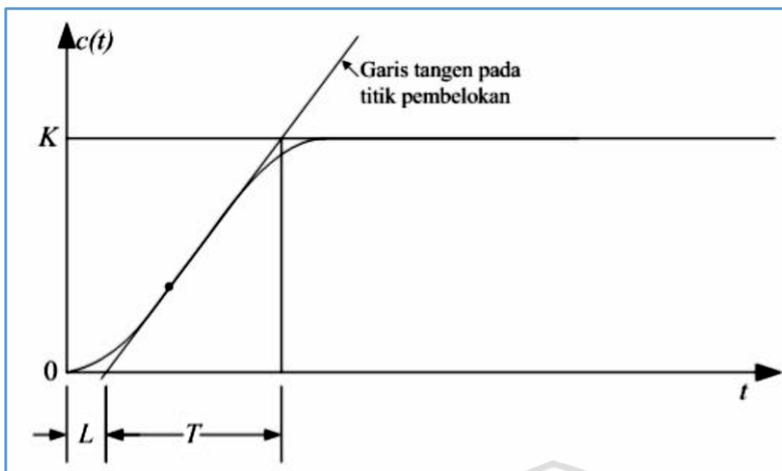
Mekanik Ball Mill terdiri dari :

1. Piringan digunakan untuk membuka dan menutup tabung agar tetap pada tempatnya.
2. Motor DC digunakan sebagai penggerak utama dari tabung Ball Mill.
3. Kontroler PID digunakan untuk memberi masukan pada motor DC.
4. Tabung Ball Mill digunakan untuk plant yang akan diamati.
5. Sensor Hall Effect digunakan untuk mengetahui putaran pada tabung Ball Mill pada saat berputar.

3.5 Penentuan Nilai Penguatan Kontroler

Untuk menentukan penguatan kontroler digunakan metode *Ziegler-Nichols* yang mengemukakan aturan-aturan untuk menentukan nilai dari gain proporsional K_p , waktu integral T_i , dan waktu derivative T_d 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).

Pada pengerjaan skripsi ini digunakanlah metode *Ziegler-Nichols* yang pertama sehingga mendapatkan sinyal kurve S seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Kurva Respon Ziegler-Nichols

(Ogata, K., 1997)

Kurva berbentuk S tersebut dapat dikarakteristikan 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 $c(t) = K$.

Langkah menentukan *tuning* parameter dengan metode 1 Ziegler-Nichols adalah sebagai berikut :

1. Menarik garis tangen pada titik infleksi grafik karakteristik *open loop*.
2. Menentukan perpotongan garis *tangent* terhadap sumbu waktu t untuk mendapatkan L .
3. Menentukan perpotongan garis *tangent* terhadap sumbu *steady* untuk mendapatkan nilai T .
4. Setelah mendapatkan Nilai L dan T digunakan untuk menentukan nilai K_p , T_i dan T_d sesuai dengan Tabel 3.1.

Tipe Kontrol	K_p	τ_i	τ_d
P	$\frac{\tau}{L}$	∞	0
PI	$0,9 \frac{\tau}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{\tau}{L}$	2L	0,5L

Tabel 3.1 Aturan Metode 1 Ziegler-Nichols

(Ogata K., 1997)

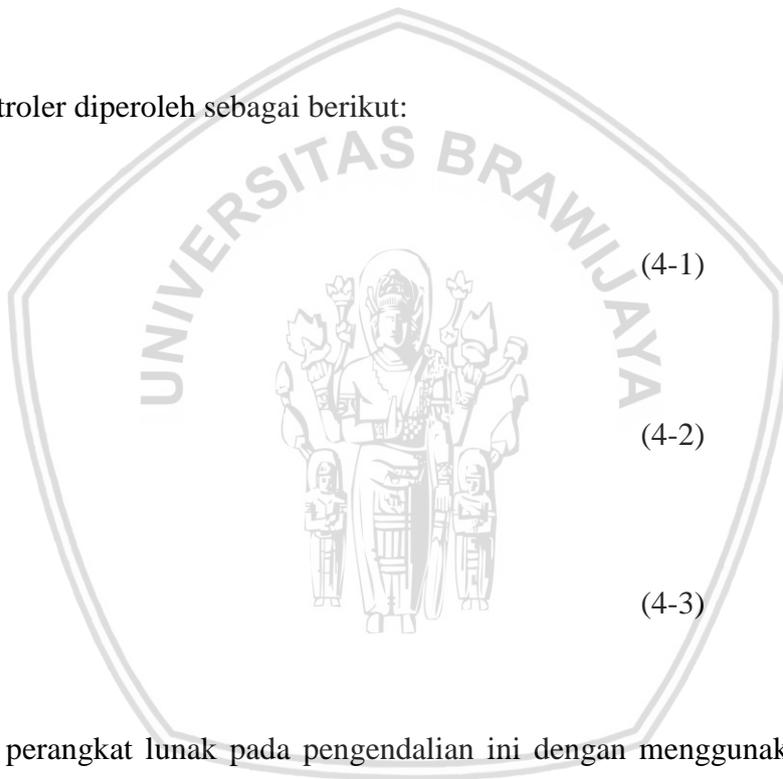
Parameter kontroler diperoleh sebagai berikut:

$$K_p = 1,2 \frac{\tau}{L} \quad (4-1)$$

$$K_i = \frac{K_p}{\tau_i} \quad (4-2)$$

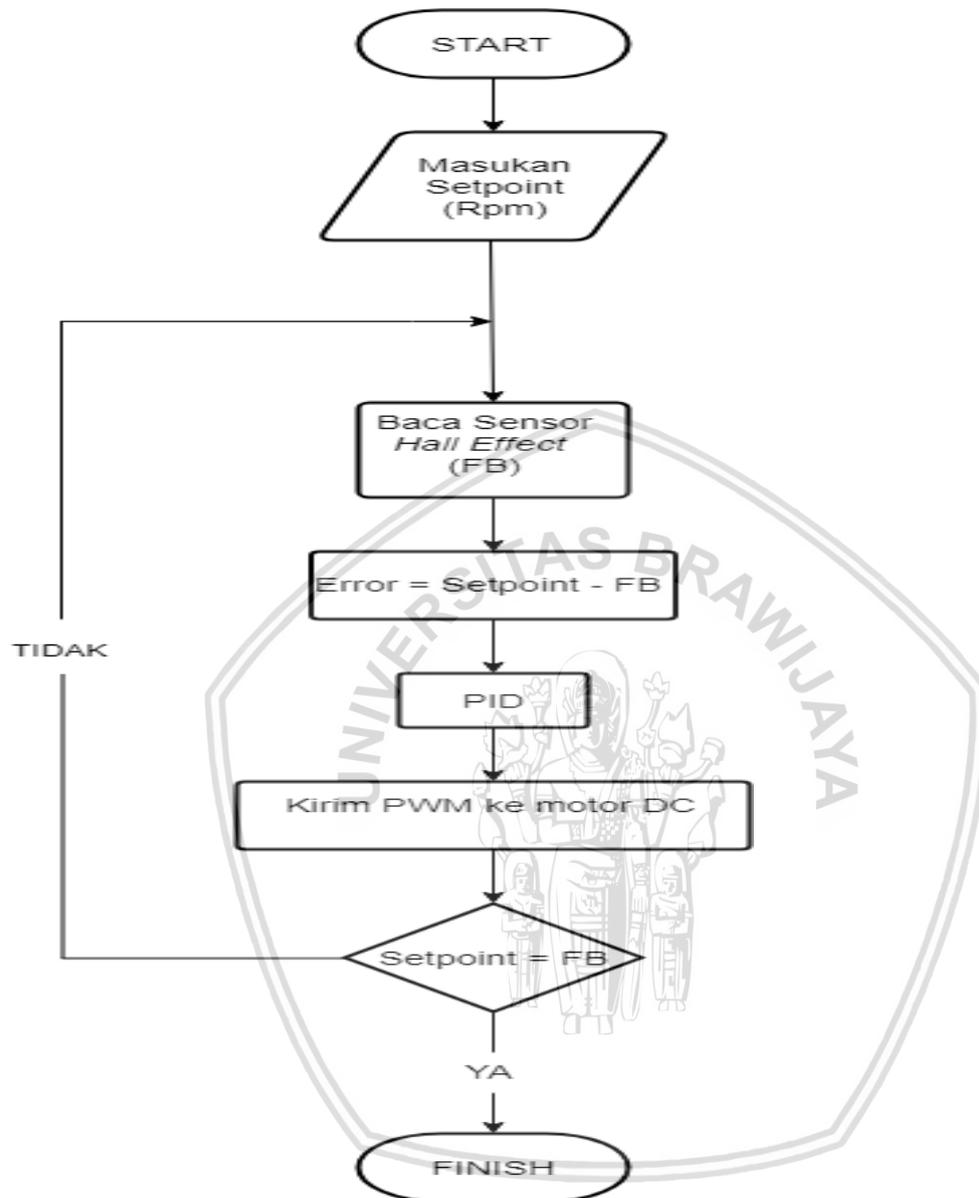
$$K_d = K_p \times \tau_d \quad (4-3)$$

Perancangan perangkat lunak pada pengendalian ini dengan menggunakan *template* PID pada *software* Arduino. *Tuning* kontroler PID adalah dengan memasukkan nilai K_p , K_i , dan K_d dari hasil perhitungan metode Ziegler-Nichols.



3.6 Perancangan Algoritma

Flowchart perancangan perangkat lunak dapat dilihat pada Gambar 3.5.

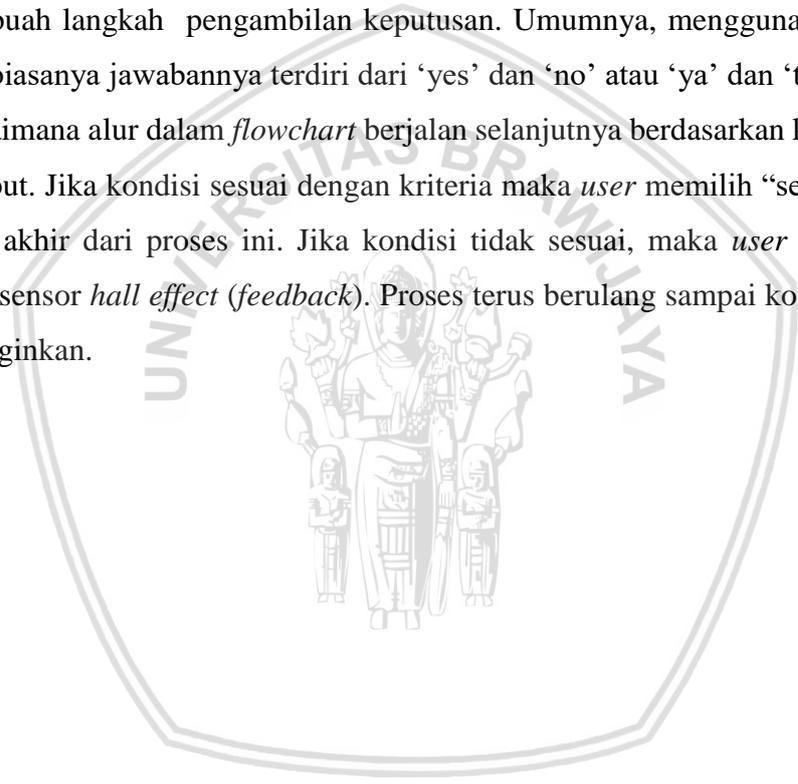


Gambar 3.5 Flowchart Perangkat Lunak

Bila dijelaskan lebih detail, dengan menggunakan simbol dan keterangan flowchart dapat dijabarkan langkah-langkah yang bisa dilakukan oleh user sebagai berikut:

1. User pilih “start” yang diwakili oleh simbol *terminator* yang menggambarkan kegiatan awal atau akhir dari suatu proses. Pada langkah ini simbol *terminator* menjabarkan kegiatan awal program memberi masukan sebesar 5 volt dan nilai Rpm yang diinginkan.
2. Pada saat *user* memilih memberi masukan 5 volt, *user* masih berada pada halaman yang sama (simbol *on-page reference*).

3. Kemudian membaca nilai *sensor hall effect (feedback)* dimana diwakili oleh simbol proses yang berfungsi menggambarkan suatu proses.
4. Setelah mendapatkan nilai *sensor hall effect*, kemudian melakukan proses masukan 5 volt berupa nilai setpoint Rpm awal dikurangkan dengan nilai *hall effect* yang terbaca (*feedback*) menghasilkan nilai *error*.
5. Nilai *error* sebagai masukan kontroler PID untuk menentukan gain K_p , K_i , dan K_d .
6. Kontroler PID melakukan proses mengirim sinyal pulsa PWM.
7. Setelah mengirim sinyal pulsa PWM, *user* disediakan dua kondisi yang harus dia pilih. Kondisi yang ada diwakili oleh simbol *decision*. *Decision* adalah simbol untuk menunjukkan sebuah langkah pengambilan keputusan. Umumnya, menggunakan bentuk pertanyaan, dan biasanya jawabannya terdiri dari ‘yes’ dan ‘no’ atau ‘ya’ dan ‘tidak’ yang menentukan bagaimana alur dalam *flowchart* berjalan selanjutnya berdasarkan kriteria atau pertanyaan tersebut. Jika kondisi sesuai dengan kriteria maka *user* memilih “selesai” yang menggambarkan akhir dari proses ini. Jika kondisi tidak sesuai, maka *user* kembali ke proses membaca *sensor hall effect (feedback)*. Proses terus berulang sampai kondisi sesuai dengan yang diinginkan.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

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 *Driver* Motor.
2. Pengujian sensor *Hall Effect*.
3. Pengujian kecepatan Motor DC.
4. Pengujian sistem keseluruhan.

4.1 Pengujian *Driver* Motor DC

4.1.1 Tujuan Pengujian

Pengujian *driver* motor DC ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara tegangan keluaran *driver* motor dengan masukannya berupa sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) .

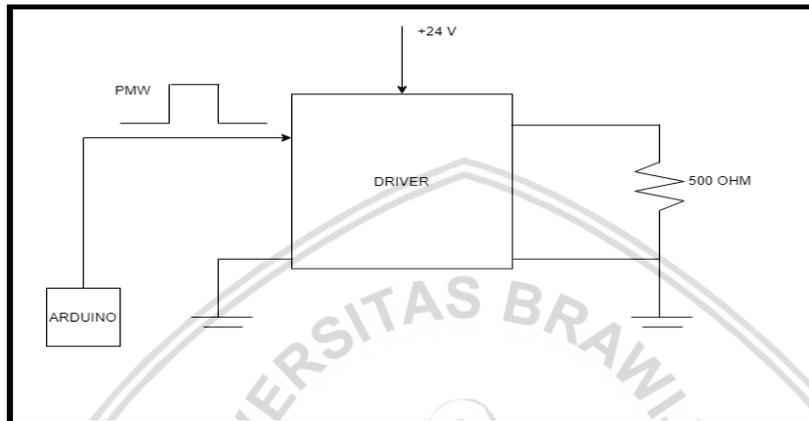
4.1.2 Peralatan Yang Digunakan

1. Modul Arduino Uno
2. *Driver* motor L298N
3. Volt Meter

4.1.3 Langkah Pengujian

1. Merangkai peralatan seperti Gambar 4.1.
2. Mengunduh program untuk menghasilkan *Pulse Width Modulation* (PWM) antara nilai 0-255 dengan interval setiap 10 *Pulse Width Modulation* (PWM) pada *software* arduino Uno.

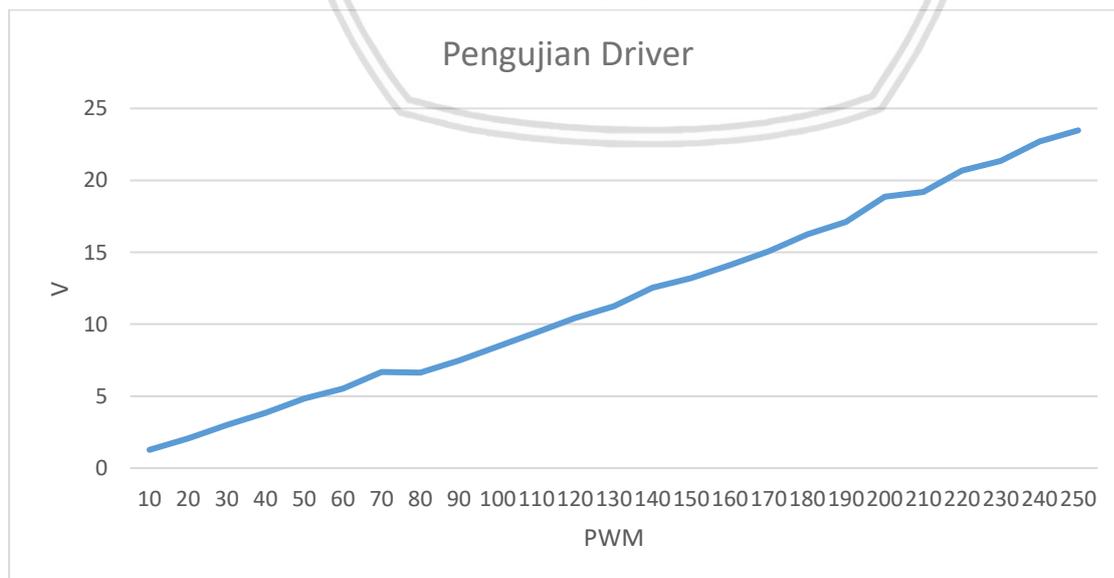
3. Mengukur tegangan keluaran untuk setiap pulse PWM yang diberikan pada masukan driver L298N.
4. Menggambar grafik hubungan PWM dengan tegangan keluaran .



Gambar 4.1 Diagram Blok Pengujian *Driver* Motor DC

4.1.4 Hasil Pengujian

Hasil pengujian driver motor DC sesuai dengan data pada tabel 1 di lampiran 1, maka didapatkan respon sistem pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik Pengujian Driver

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel dapat diketahui bahwa tegangan yang keluar berubah-ubah sesuai dengan perubahan *Pulse Width Modulation (PWM)* mendekati linier. Dengan demikian *driver* dapat berfungsi dengan baik.

4.2 Pengujian Motor DC

4.2.1 Tujuan Pengujian

Pengujian motor DC ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara tegangan keluaran motor dengan masukannya berupa Rpm .

4.2.2 Peralatan Yang Digunakan

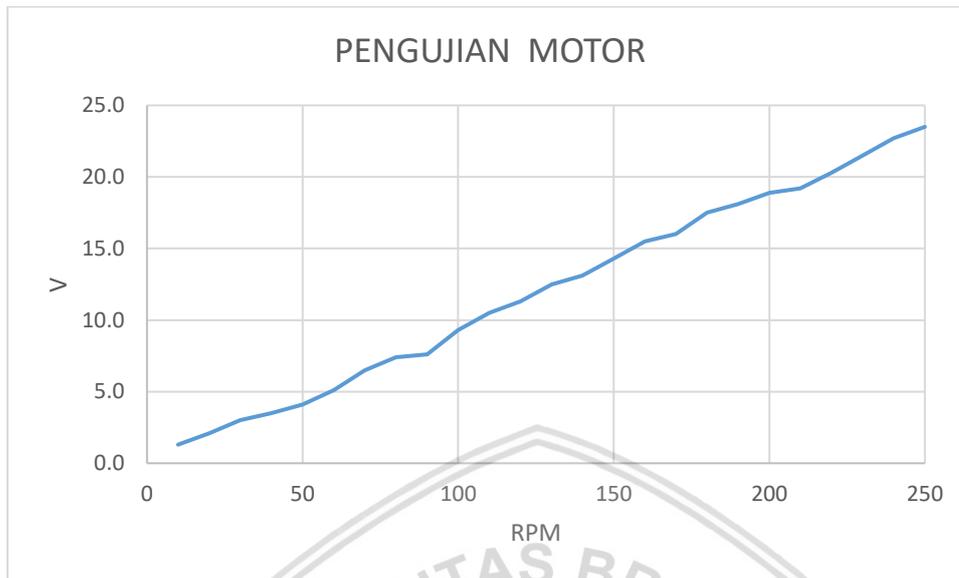
1. Modul Arduino Uno
2. Motor DC 24 Volt
3. Volt Meter

4.2.3 Langkah Pengujian

1. Mengunduh program untuk menghasilkan Rpm antara nilai 0-255 dengan interval setiap 10 Rpm pada *software* arduino Uno.
2. Mengukur tegangan keluaran untuk setiap pulsa yang diberika Motor DC 24 Volt.
3. Menggambar grafik hubungan Rpm dengan tegangan keluaran .

4.2.4 Hasil Pengujian

Hasil pengujian driver motor DC sesuai dengan data pada tabel 2 di lampiran 1, maka didapatkan respon sistem pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik Pengujian Motor

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel dapat diketahui bahwa tegangan yang keluar berubah-ubah sesuai dengan perubahan Rpm mendekati linier. Dengan demikian motor dapat berfungsi dengan baik.

4.3 Pengujian Sensor

4.3.1 Tujuan Pengujian

Mengetahui kecepatan yang terbaca pada sensor Hall Effect telah sesuai dengan yang diinginkan untuk diolah kembali ke kontroler PID sebagai input.

4.3.2 Peralatan Yang Digunakan

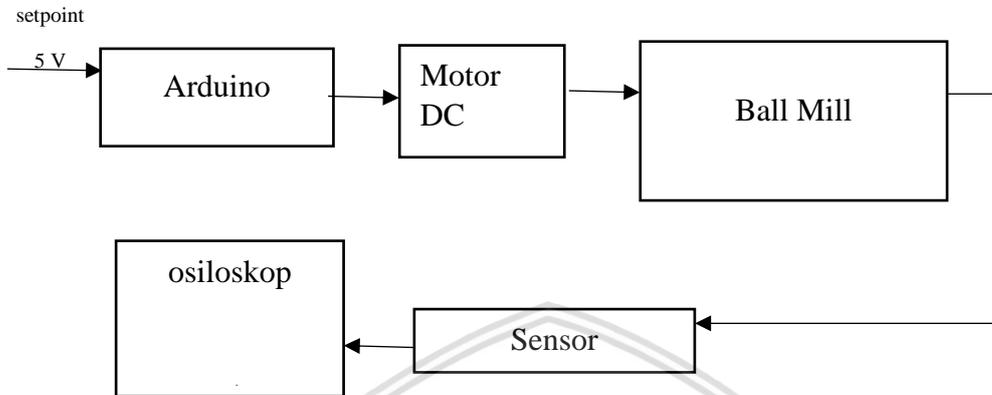
1. Modul Arduino uno
2. *Driver* motor L298N
3. Motor DC 24 Volt
4. *Sensor Hall Effect*
5. *Osiloskop*

4.3.3 Langkah Pengujian

1. Merangkai rangkaian seperti pada gambar 4.4.
2. Mengisi arduino uno dengan program berupa *PWM*

3. Mengaktifkan catu daya 5 volt

4. Mencatat kecepatan yang terbaca pada osiloskop.

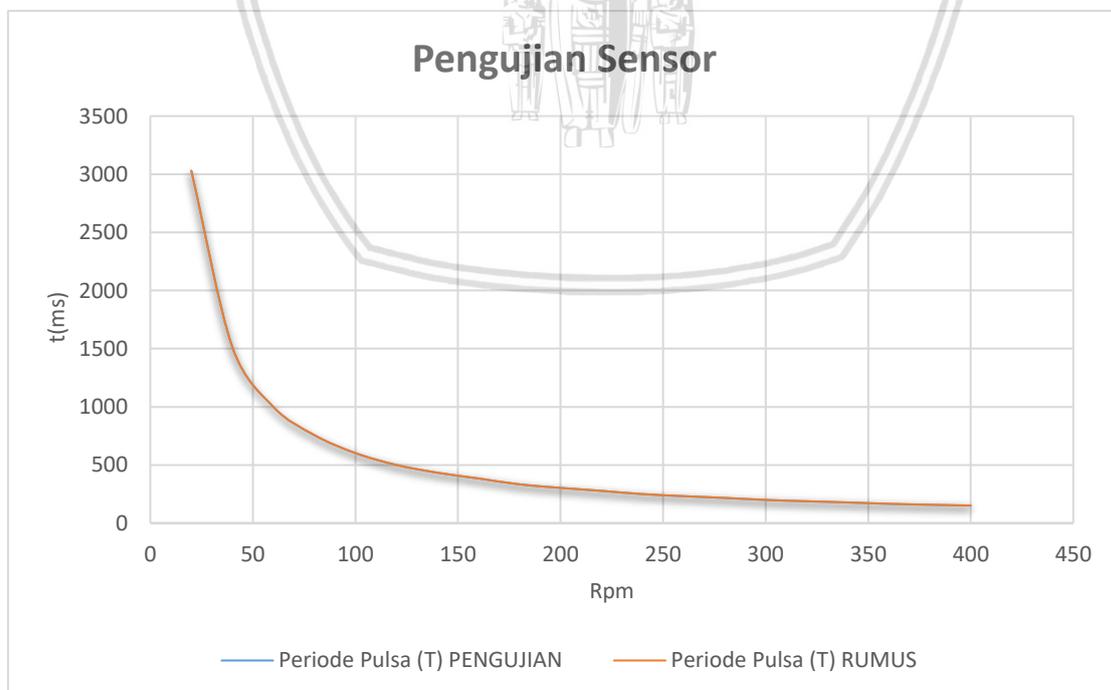


Gambar 4.4 Diagram Blok Pengujian Sensor

5. Untuk mendapatkan nilai pada pengambilan data menggunakan rumus yaitu $T = \frac{60}{RPM}$

4.2.4 Hasil Pengujian

Hasil pengujian kecepatan motor dengan nilai *Pulse Width Modulation* (PWM) yang ditentukan sesuai dengan data pada tabel 3 di lampiran 1, maka didapatkan respon sistem pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik Pengujian Sensor

Dari hasil data di tabel 3 yang terdapat pada lampiran 1 . Dalam pengujian terdapat error dengan rata-rata error sebesar 0,00258 ms.

$$0,00258 \times 100\% = 0,258 \%$$

Presentasi error yang didapat yaitu 0,258 %.

4.4 Pengujian Kurva S

4.4.1 Tujuan Pengujian

Untuk mendapatkan kurva s motor DC dengan mengubah-ubah nilai PWM.

4.4.2 Peralatan yang digunakan

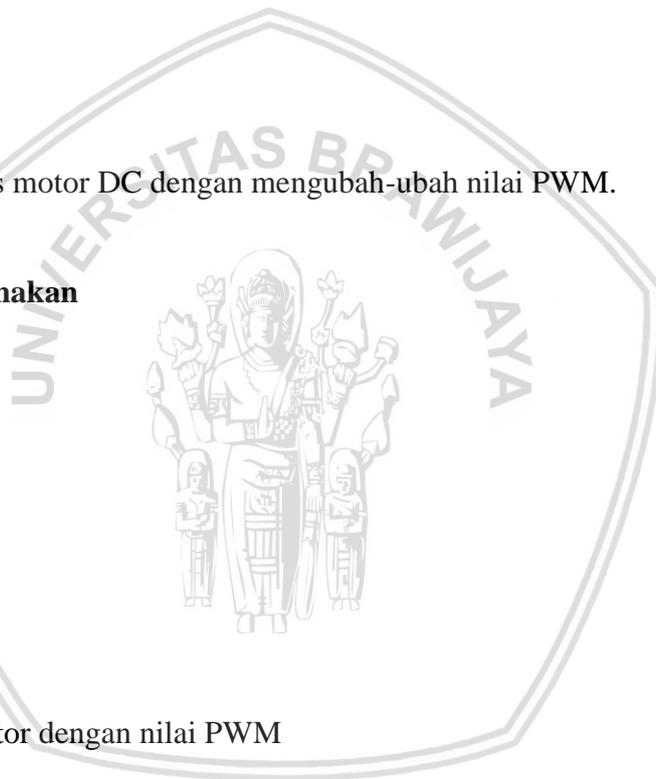
1. Catu daya 5 volt
2. Modul Arduino Uno
3. *Driver* motor
4. Motor DC 24 Volt
5. Sensor *hall effect*

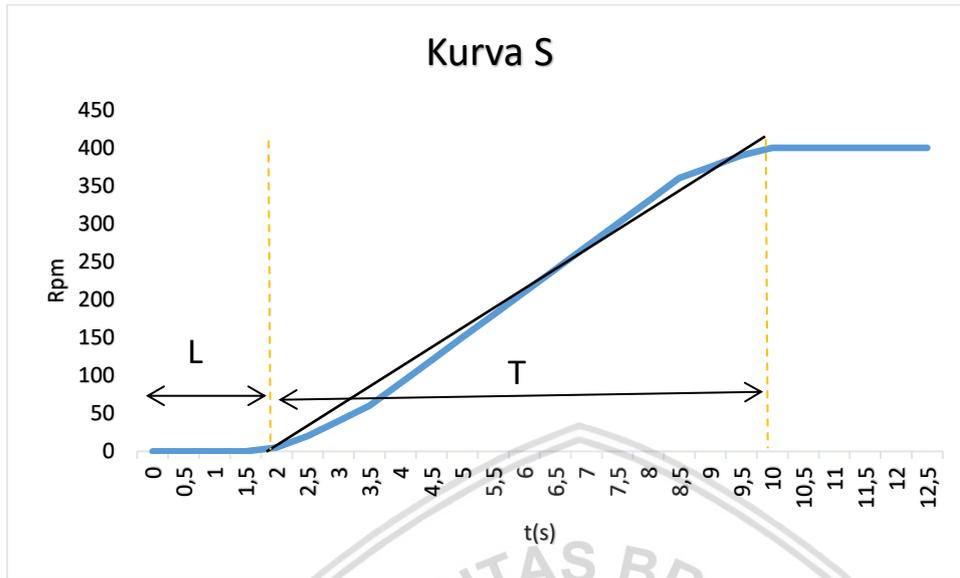
4.4.3 Langkah Pengujian

1. Mengukur kecepatan motor dengan nilai PWM
2. Memberi nilai PWM = 0
3. Memberi nilai PWM = 250 sebagai fungsi step.

4.4.4 Hasil Pengujian

Hasil pengujian kecepatan motor dengan nilai *Pulse Width Modulation* (PWM) yang ditentukan sesuai dengan data pada tabel 4 di lampiran 1, maka didapatkan respon sistem pada gambar 4.6.





Gambar 4.6 Grafik Kurva S.

Type Kontrol	K_p	τ_i	τ_d
P	$\frac{\tau}{L}$	∞	0
PI	$0,9 \frac{\tau}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{\tau}{L}$	$2L$	$0,5L$

Tabel 4.1 Aturan Metode 1 Ziegler-Nichols (Ogata K., 1997)

Dari Gambar 4.6 diperoleh besarnya $L = 1,9s$ dan $T = 10 - 1,9 = 8,1$ ms.

Dengan demikian parameter kontroler diperoleh sebagai berikut :

$$K_p = 1,2 \frac{\tau}{L} = 1,2 \times \frac{8,1s}{1,9s} = 5,12$$

$$\tau_i = 2L = 2 \times 1,9 s = 3,8$$

$$\tau_d = 0,5L = 0,5 \times 1,9 s = 0,95$$



Selanjutnya akan diperoleh K_i dan K_d sebagai berikut :

$$K_i = \frac{K_p}{\tau_i} = \frac{5,12}{3,8} = 1,35 \quad K_d = K_p \times \tau_d = 5,12 \times 0,95 = 4,86$$

4.5 Pengujian Keseluruhan

4.5.1 Tujuan Pengujian

Untuk mengetahui kerja dari perangkat keras dan perangkat lunak setelah diintegrasikan dalam sebuah sistem terpadu dan bekerja sesuai dengan *setpoint* yang diharapkan.

4.5.2 Peralatan Yang Digunakan

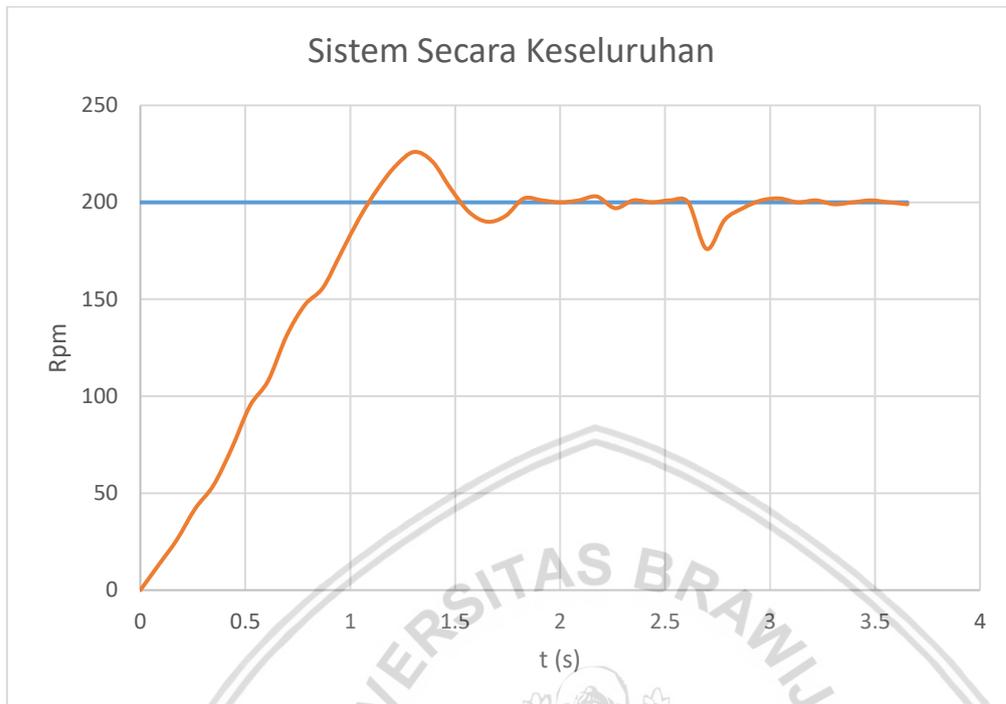
1. Tabung Ball Mill lengkap dengan sensor Hall Effect dan motor DC 24 Volt.
2. Catu daya 5 volt
3. Modul Arduino Uno
4. *Driver* motor menggunakan modul L298N

4.5.3 Langkah Pengujian

1. Pengujian alat ini dilakukan dengan cara mengunduh program pada *software* arduino uno. Nilai keluaran pembacaan jarak oleh sensor kemudian ditampilkan pada serial monitor *software* Arduino Uno.
2. Memberi *setpoint* dengan tegangan 2,5 V sebagai *setpoint* 200 rpm
3. Respon kecepatan keluaran Ball Mill di tampilkan di konsol ARDUINO.
4. Menggambar grafik respon keseluruhan

4.5.4 Hasil Pengujian

Hasil pengujian secara keseluruhan sesuai dengan data pada tabel 5 di lampiran 1, maka didapatkan respon sistem pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik Respon Sistem Keseluruhan.

Dari hasil pengujian setelah diberi beban sistem mampu mencapai steady state pada waktu 1,8 s yang diperlihatkan dalam Gambar 4.7, kemudian diberi gangguan secara *random* (acak). Sehingga menghasilkan *error* sebesar 1,5 % dan respon mampu mengembalikan kembali pada keadaan *steady* (setimbang) dengan *recovery time* sebesar 0,25 s. Untuk lebih jelasnya parameter pada kerja sistem yang diperoleh sebagai berikut :

1. *Time overshoot* (TO) terjadi pada sekitar 1,3 s
2. *Steady State* terjadi pada sekitar 1,8 s
3. Besarnya *Overshoot* (OS) sebesar $\frac{226-200}{200} \times 100\% = 13 \%$
4. Besarnya *Error steady state* sebesar $\frac{200-197}{200} \times 100\% = 1,5 \%$
5. *Recovery Time* (RT) setelah adanya gangguan = 0,25 s



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari perancangan, pengujian dan pengamatan yang telah dilakukan pada penelitian sistem pengendalian kecepatan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan data respons sistem yang diperoleh dari pengujian dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols, maka parameter PID dapat ditentukan dengan gain $K_p = 5,12$; $K_i = 1,35$; $K_d = 4,86$.
2. Pada pengujian dengan memberikan gangguan berupa perubahan beban sementara, terjadi perubahan kecepatan pada kondisi setimbang dengan nilai *time overshoot* sebesar 1,3 s, waktu mencapai *steady state* yaitu 1,8 s, *overshoot* sebesar 13 % dan *error steady state* sebesar 1,5%, serta secara keseluruhan sistem dapat kembali pada keadaan *steady* dan mampu memberikan respon sistem yang baik ketika terjadinya gangguan dengan *recovery time* sebesar 0,25 s. Jadi hasil pengujian ini menunjukkan bahwa Arduino uno dengan metode kontrol PID menghasilkan respon sesuai dengan yang diharapkan dan mampu diaplikasikan pada alat Ball Mill..

5.2 Saran

Dalam perancangan dan pembuatan alat ini masih terdapat kelemahan. Untuk memperbaiki kinerja alat dan pengembangan lebih lanjut disarankan:

1. Disarankan untuk menambahkan penyaring didalam Ball Mill agar didapatkan hasil yang lebih maksimal.
2. Disarankan menggunakan bola bola besi yang lebih banyak agar dapat menghaluskan material secara merata dan lebih cepat.



DAFTAR PUSTAKA

1. Arduino.cc, Arduino uno datasheet
2. Rashid, M.H., 1993. *Power Electronics: Circuit, Devices, and Application*, Prentice Hall International, INC., Englewood Cliffs, New Jersey
3. Zuhail, 1998. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: Gramedia
4. Sumanto, 1994. *Mesin Arus Searah*. Jogjakarta: Penerbit ANDI OFFSET
5. Ed Ramsden (2006). *Hall-effect sensors: theory and applications (2, illustrated ed.)*. Elsevier. [ISBN 0-7506-7934-4](#)
6. Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. Erlangga. Jakarta.

