



**PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR BLDC PADA
KERANJANG PEMBAWA BARANG BELANJA
DENGAN METODE KONTROL PID**

SKRIPSI

oleh

**Putra Agung Saifullah
NIM 111910201084**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR BLDC PADA
KERANJANG PEMBAWA BARANG BELANJA
DENGAN METODE KONTROL PID**

SKRIPSI

**diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Jurusan Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik**

oleh

**Putra Agung Saifullah
NIM 111910201084**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**

PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah SWT, yang telah memberikan limpahan nikmat yang luar biasa kepada penulis, tidak lupa juga sholawat dan salam selalu tercurahkan kepada Nabi besar Muhammad SAW yang telah membimbing kita semua dari jaman jahiliyah menuju jaman yang terang benderang. Dengan kerendahan hati, penulis mempersembahkan tugas akhir ini kepada:

1. Ibu Supatmi, yang selalu mendoakan anaknya agar agar menjadi orang bermanfaat untuk orang lain.
2. Ghulam Nur Utomo yang mau bersabar dan bekerja keras untuk keluarga.
3. Bapak Widjonarko, S.T., M.T. sabagai DPU, dan Bapak Sumardi, S.T., M.T sabagai DPA yang telah membimbing penulis sehingga penus dapat menyelesaikan sekripsi tersebut.
4. Teman – teman Teknik khususnya angkatan 2011 yang selalu memberikan dukungan, doa, dan semangat, agar sahabatnya dapat menyelesaikan sekripsi.
5. Teman – temanku semuanya dimanapun mereka terimakasih atas semangat dan dukungan yang tak pernah berhenti mereka berikan.
6. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Putra Agung Saifullah

NIM : 111910201084

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengendalian Kecepatan Motor BLDC Pada Keranjang Pembawa Barang Belanja Dengan Metode Kontrol PID” adalah benar - benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan yang sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 30 Desember 2016

Yang menyatakan,

Putra Agung Saifullah

NIM 111910201084

SKRIPSI

**PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR BLDC PADA
KERANJANG PEMBAWA BARANG BELANJA
DENGAN METODE KONTROL PID**

Oleh

Putra Agung Saifullah
NIM 111910201084

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Widjonarko, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Sumardi, S.T., M.T

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengendalian Kecepatan Motor BLDC pada Keranjang Pembawa Barang Belanja dengan Metode Kontrol PID” karya Putra Agung Saifullah telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Jumat, 30 Desember 2016

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,

Widjonarko, S.T., M.T.
NIP 197109081999031001

Sumardi, S.T., M.T.
NIP 196701131998021001

Anggota II,

Anggota III,

Khairul Anam, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 197804052005011002

Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.
NIP 196312011994021002

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M
NIP 196612151995032001

Pengendalian Kecepatan Motor BLDC pada Keranjang Pembawa
Barang Belanja dengan Metode Kontrol PID

Putra Agung Saifullah

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Dengan berkembangnya teknologi saat ini diharapkan dapat membuat sebuah alat yang mampu membantu pekerjaan manusia, dan mudah dioperasikan. Salah satunya adalah keranjang belanja yang biasanya digunakan di super market yang masih menggunakan tenaga manusia untuk mendorongnya. Maka dirancang *prototype* alat tersebut untuk memudahkan dalam mengangkut barang belanja yang berat. Selain itu dengan alat tersebut diharapkan dapat mempercepat pekerjaan dan bisa menghemat tenaga untuk pekerjaan yang lain. Pengendalian kecepatan dalam *prototype* tersebut menggunakan metode kontrol PID. Dengan menggunakan kendali kecepatan secara otomatis ini diharapkan alat dapat berberak dengan kecepatan konstan walau berapapun beban belanja yang diangkut. Pada pengujian arus pada aki didapatkan nilai terendah 0,8 Ampere ketika tidak diberi berat belanja, dan nilai tertinggi ketika arus 1,59 Ampere yaitu pada berat 36Kg. Untuk pengujian kecepatan alat didapatkan error terkecil senilai 0%, ketika alat tidak diberi beban. Alat memiliki error terbesar dengan nilai 86,8% yaitu ketika mendapat beban 36Kg. Dari data error tersebut menunjukkan alat kurang sempurna Karena masih ada perubahan nilai kecepatan pada alat.

Kata kunci: pengendalian kecepatan, motor BDC, keranjang belanja, kontrol PID

*BLDC Motor Speed Control in The Basket Carrier Goods Shopping
with PID Control Method*

Putra Agung Saifullah

Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Jember University

ABSTRACT

With the development of today's technology is expected to create a tool capable of helping people work, and easy to operate. One is a shopping cart that is usually used in super markets in persons who are still using force to push it. Then designed the prototype tool to make it easier to transport goods heavy expenditure. In addition to these tools is expected to speed up the work and can save energy for other jobs. Control of speed in the prototype using PID control method. By using the automatic speed control is expected appliance can relieve oneself at a constant speed regardless of load despite spending transported. In the current testing on batteries obtained the lowest score of 0.8 Ampere when not given the heavy shopping, and the highest value when the current 1,59 Ampere is on weight 36kg. Speed testing tool for the smallest error obtained appreciating 0%, when the appliance is not given load. Tool has the greatest error of 86.8% with less value that is when you get a load of 36kg. The error of the data indicates a less than perfect tool Because they change speed value on the tool.

Key words: controlling the speed, the motor BDC, shopping cart, PID control

RINGKASAN

Pengendalian Kecepatan Motor BLDC pada Keranjang Pembawa Barang Belanja dengan Metode Kontrol PID; Putra Agung Saifullah; 111910201084; 2016; 62 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Perkembangan teknologi saat ini semakin berkembang. Maka dituntut untuk dapat membuat sebuah teknologi yang dapat dengan mudah membantu pekerjaan manusia dapat dioperasikan dengan mudah. Salah satunya adalah keranjang belanja yang biasa digunakan di pasar swalayan masih menggunakan tenaga manusia untuk mendorongnya. Maka dirancang *prototype* alat tersebut untuk memudahkan dalam mengangkut barang belanja yang berat.

Dengan menggunakan alat tersebut akan meringankan kegiatan pengangkutan barang belanja, karena tanpa harus mendorong keranjang, cukup menggerakkan tombol analog stick pada pengendali pengguna sudah dapat menggerakkan keranjang sesuai dengan arah yang dikehendaki. Diharapkan dengan alat tersebut dapat membantu pekerjaan pengangkutan barang belanja. Selain itu dengan alat tersebut diharapkan dapat mempercepat pekerjaan dan bisa menghemat tenaga untuk pekerjaan lainnya.

Pengendalian kecepatan dalam *prototype* tersebut menggunakan metode PID. Pengendalian kecepatan disini bertujuan agar mempermudah pengguna dalam menggunakan *prototype*, karena pengguna tidak usah mengatur kecepatan dari hanya tinggal mengarahkan tombol analog stick pada pengendali untuk pengguna yang merupakan bagian dari *prototype* tersebut. Dengan menggunakan pengendalian kecepatan secara otomatis ini diharapkan alat dapat berbeban dengan kecepatan konstan walau berapapun beban belanja yang diangkut.

Pengujian pada *prototype* yang telah dibuat meliputi pengujian waktu tempuh, kecepatan, dan pengujian arus aki. Pengambilan data dari ketiga data tersebut dilakukan dalam sekali waktu. Untuk pengambilan arus aki dilakukan agar mengetahui apakah ada pengaruh dari perubahan beban belanja yang diangkut *prototipe*.

Dari pengujian data arus aki didapatkan informasi bahwa nilai arus aki akan naik berbanding lurus dengan nilai beban belanja. Pada pengujian arus pada aki didapatkan nilai terendah 0,8 Ampere ketika tidak diberi beban, dan nilai tertinggi ketika arus 1,59 Ampere yaitu pada beban 36Kg. Untuk pengujian kecepatan alat didapatkan error terkecil bernilai 0%, ketika alat tidak diberi beban. Alat memiliki error terbesar dengan nilai 86,8% yaitu ketika mendapat beban 36Kg. Dari data error persen ini terlihat bahwa kontrol PID dalam pembuatan *prototype* tersebut masih belum sempurna, karena masih terdapat perubahan waktu tempuh.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah Yang Maha Pengasih dan Penyayang atas segala rahmat, bimbingan dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini.

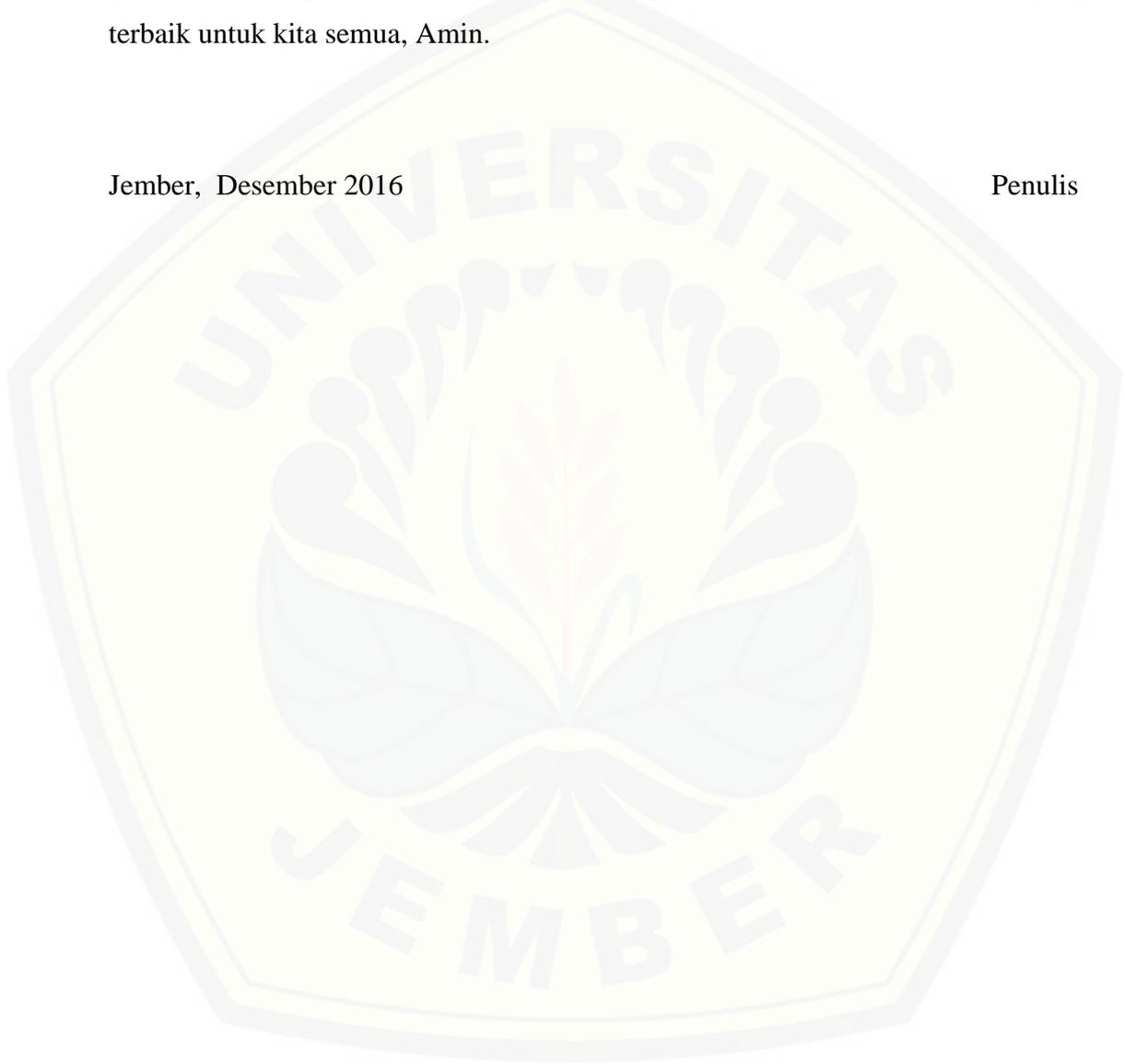
Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah S.W.T yang telah memberikan jalan untuk menyelesaikan segala masalah, termasuk skripsi ini;
2. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Bapak Dr. Triwahju Hardianto S.T, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
4. Bapak Widjonarko, S.T., M.T. selaku DPU dan Bapak Sumardi, S.T., M.T. selaku DPA yang telah meluangkan waktu, pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan arahan demi terselesaikannya skripsi ini.
5. Ibu Supatmi, yang selalu mendoakan agar anaknya menjadi orang bermanfaat untuk orang lain.
6. Ghulam Nur Utomo yang mau bersabar dan bekerja keras untuk keluarga.
7. Bapak Khairul Anam, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen penguji I dan Bapak Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. selaku dosen penguji II;
8. Teman–teman, dan sahabat sejurusan maupun berbeda jurusan yang selalu memberikan semangat agar penulis dapat menyelesaikan skripsi dan dapat bersama–sama meraih gelar sarjana;
9. Untuk orang–orang yang pernah dicintai penulis, dan orang–orang yang pernah mencintai penulis, yang membuat penulis sadar akan tanggung jawab untuk menyelesaikan tugas akhir ini;
10. Tidak lupa seluruh pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini, agar dapat menjadi referensi yang memberikan manfaat bagi semua pihak. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat berguna bagi pembaca dan bagi penulis sendiri pada khususnya, dan semoga Allah SWT memberikan yang terbaik untuk kita semua, Amin.

Jember, Desember 2016

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
RINGKASAN	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Motor BLDC	5
2.2 <i>Controller</i> Motor BLDC	7
2.3 PWM.....	8
2.4 PID.....	10
2.5 <i>Sensor Rotary Encoder</i>	14
2.6 <i>OP-ANP (Operational Amplifier)</i>	15
2.7 Transistor	16
2.8 Mosfet.....	18

2.9 <i>Optocoupler</i>	22
2.10 Motor DC.....	23
2.11 Arduino.....	25
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	27
3.2 Alat dan Bahan	27
3.2.1 Hardware.....	27
3.2.2 Software	27
3.3 Tahapan Penelitian.....	28
3.4 Diagram Blok	29
3.5 Perancangan Mekanik.....	31
3.6 Perancangan Elektronika.....	36
3.7 Perancangan <i>Supplay</i> Tegangan.....	43
3.8 Perancangan <i>Software</i>	44
3.9 Perancangan Sistem <i>Tuning</i> PID.....	44
3.10 <i>Flowchart</i> Sistim Kerja.....	49
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	53
4.1 Hasil Pengujian Waktu Tempuh, Kecepatan, dan Error Kecepatan Terhadap Berat Belanja.....	53
4.2 Pengujian Arus Aki Terhadap Berat Belanja.....	56
BAB 5. PENUTUP.....	59
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA.....	60
LAMPIRAN.....	63

DAFTAR TABEL

	Halaman
3.1 <i>Datasheet</i> LM 339	36
3.2 <i>Datasheet</i> LM 339	38
3.3 <i>Datasheet Mosfet</i> IRF 540	39
3.4 <i>Datasheet Mosfet</i> IRF 9540	39
3.5 <i>Datasheet</i> Transistor BD139	41
3.6 Penggunaan <i>Pin</i> Pada Arduino	48
4.1 Hasil Pengujian Waktu Tempuh, dan Kecepatan Terhadap Berat Belanja	54
4.2 <i>Error</i> Persen Kecepatan.....	57
4.3 Hasil Pengujian Arus Aki Terhadap Beban Belanja.....	57

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 <i>Driver Inverter</i> Motor BLDC	5
2.2 Gambar PWM <i>Six Step</i> 3 Fasa.....	6
2.3 Pembuatan Sinyal Sinoidal	7
2.4 Contoh <i>controller</i> motor BLDC pabrikan	8
2.5 Fariasi PWM antara 0% ampai 100% dengan Resolusi 8 <i>bit</i>	9
2.6 Sekema Rangkaian PWM Analog	9
2.7 Pembentukan Sinyal PWM.....	10
2.8 Diagram Sistim Kontrol PID	11
2.9 Pengaruh Konstanta K_p Terhadap Respon Kontrol PID.....	12
2.10 Pengaruh Konstanta K_i Terhadap Respon kontrol PID	13
2.11 Pengaruh Konstanta K_d Terhadap Respon kontrol PID	14
2.12 Desain Umum <i>Rotary Encoder</i>	14
2.13 Sekema Rangkainan <i>Comparator</i> Sederhana	16
2.14 Transistor Tipe (a)pnp, dan Transitor Tipe (b)npn	17
2.15 <i>Forward Bias</i> Pada Salah Satu <i>Jungtion</i> dari Transistor dengn Meghilangkan Tegangan V_{CC}	17
2.16 <i>Forward Bias</i> Pada Salah Satu <i>Jungtion</i> dari Transistor dengn Meghilangkan Tegangan V_{EE}	18
2.17 Aliran Pembawa Mayoritas dan Minoritas pada Transistor pnp	18
2.18 Struktur MOSFET <i>Depletion-mode</i>	19
2.19 Simbol Transistor MOSFET Mode <i>Depletion</i> (a) N-Channel <i>Depletion</i> (b) P-Channel <i>Depletion</i>	20
2.20 Struktur Mosfet <i>Enhancement-mode</i>	21
2.21 Simbol Transistor MOSFET Mode <i>Depletion</i> (a) N-Channel <i>Depletion</i> (b) P-Channel <i>Depletion</i>	23
2.22 <i>Optocouler</i> Secara Umum	23
2.23 Arah medan pada penghantar	24

2.24	Konduktor Berbentuk U (Angker Dinamo).....	24
2.25	Medan Konduktor U di Dalam Medan Magnet.....	25
2.26	Arduini Uno	26
3.1	Diagram Blok	29
3.2	Rancangan Pembuatan Mekanik.....	31
3.3	Mekanik dan Bagian-bagian dari Alat.....	35
3.4	<i>Schematic</i> Rangkaian Pengendali Untuk Pengguna	36
3.5	<i>Schematic</i> Rangkaian Sensor <i>Rotary Encoder</i>	38
3.6	<i>Schematic</i> Rangkaian Driver Motor DC 12 volt.....	40
3.7	<i>Schematic</i> Rangkaian <i>Switch Controller</i> Motor BLDC	42
3.8	Rancangan Rangkaian Arduino	43
3.9	Inisialisasi <i>Pin</i> Rangkaian Pengendali Untuk Pengguna	45
3.10	Program Pembacaan RPM.....	45
3.11	Inisialisasi <i>Pin</i> Output Pergerakan.....	46
3.12	Inisialisasi Program PID	47
3.13	Blok Aplikasi <i>Controller</i> PID Pada Keranjang Belanja Menggunakan Motor BLDC.....	50
3.14	Tampilan Grafik <i>Tuning</i> PID <i>Control</i> Menggunakan Matlab R2012b ..	50
3.15	<i>Flowchart</i> Sistem Kerja Alat	52
4.1	Grafik <i>Error</i> Persen Kecepatan	55
4.2	Grafik Hasil Pengujian Arus Aki Terhadap Berat Belanja.....	52

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di zaman yang semakin maju seperti ini teknologi yang berhubungan dengan kegiatan manusia juga semakin berkembang. Maka dituntut untuk dapat membuat sebuah teknologi yang dapat dengan mudah membantu pekerjaan manusia dan dapat dioperasikan dengan mudah atau dapat dioperasikan secara otomatis. Seperti robot pengangkut barang untuk membantu membawa barang yang terlalu berat bagi manusia. Robot pengangkut barang ini sudah banyak dibuat dan diteliti para mahasiswa untuk sebuah skripsi atau tugas akhir, seperti “Perancangan Sstem Kendali Gerak Pada *Platform* Robot Pengangkut”. Perlu diketahui robot pada penelitian tersebut menggunakan motor BLDC, yang mana motor tersebut memiliki tingkat efisien lebih baik dibanding motor DC, karena ketika beroperasi tidak terjadi gesekan pada sikat *rotor* seperti pada motor DC. Sebuah system robot tersebut masih ada kekurangan yaitu di dalamnya belum ada kestabilan system yang mengatur kecepatan laju robot. Sehingga kecepatan robot akan berubah jika barang yang di bawa robot tersebut beratnya dirubah. Pengaturan kestabilan kecepatan dibutuhkan agar gerak robot stabil sehingga mempermudah pekerjaan manusia, jika robot diaplikasikan pada sebuah pekerjaan yang memerlukan kecepatan yang tetap.

Penelitian tentang pengaturan kecepatan pada robot pembawa barang ini juga telah diteliti sebelumnya sebagai tugas skripsi, seperti “Sistem Pengaturan Kecepatan Motor pada Robot Line Follower Berbeban Menggunakan Kontroler PID”. Namun dalam penelitian robot tersebut menggunakan motor DC sebagai penggerak, yang mana motor DC memiliki kelemahan dalam efisiensi daya dibandingkan dengan motor BLDC.

Dari uraian diatas penulis mengabungkan kedua penelitian tersebut untuk sebuah penelitian skripsi yang berjudul “Pengendali Kecepatan Motor BLDC pada Keranjang Pembawa Barang Belanja dengan Metode Kontrol PID.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun masalah yang dibahas pada penelitian tersebut yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem pengendalian kecepatan motor BLDC dengan menggunakan metode PID yang berfungsi sebagai motor pendorong mekanik alat?
2. Berapa *error* persen dari pengujian kecepatan ?
3. Bagaimana pengaruh berat belanja terhadap arus aki?
4. Bagaimana mengontrol pergerakan alat agar dapat bergerak sesuai dengan yang diinginkan pengguna?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian tersebut adalah sebagai berikut :

1. Dapat merancang sistem pengendalian kecepatan motor BLDC dengan menggunakan metode PID yang berfungsi sebagai motor pendorong mekanik alat.
2. Dapat mengetahui *error* persen dari pengujian kecepatan.
3. Dapat membuat *prototype* keranjang pembawa barang belanja.
4. Dapat mengontrol pergerakan alat agar dapat bergerak sesuai dengan yang diinginkan pengguna.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Di dalam pengujian alat hanya menggunakan lintasan lurus yang mendatar dan tidak ada rintangan atau penghalang.
2. Sistem pengendalian kecepatan motor BLDC diterapkan berdasarkan rpm yang terbaca sensor *rotary encoder*.
3. Sistem pengendalik kecepatan menggunakan kontrol PID tuning, dan untuk menentukan parameter K_p , K_i , dan K_d menggunakan metode *trial error*.
4. Tidak membahas pembuatan rangkaian *suplay* untuk mikrokontroler dan sensor *rotary encoder*.

5. Pengaturan kecepatan motor BLDC hanya menggunakan metode PID dan pengaturan pada PWM (*Pulse Width Modulation*).
6. Perancangan alat hanya dirancang untuk pergerakan maju, majuk belok kiri dan maju belok kanan.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian tersebut adalah :

1. Membantu pekerjaan dalam membawa barang belanja yang berat.
2. Dapat digunakan untuk pengembangan penelitian selanjutnya sebagai referensi.
3. Dapat mengendalikan keranjang pembawa barang belanja dengan mudah.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam laporan penelitian ini untuk mempermudah pembahasan permasalahan dari penelitian tentang Pengendali Kecepatan Motor BLDC pada Keranjang Pembawa Barang Belanja dengan Metode Kontrol PID maka penyusun membuat sistim penulisan sebagai berikut.

BAB 1. PENDAHULUAN

Yaitu berisi tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, metodologi, pembahasan, dan sistim penulisan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Membahas tentang teori-teori yang mendukung dalam perancangan dan pembuatan sistim.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang metode penelitian dan perancangan pembuatan alat.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tetang hasil penelitian yang telah dilakukan serta analisa dan evaluasi terhadap data-data yang diperoleh selama perancangan sistim.

BAB 5. PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

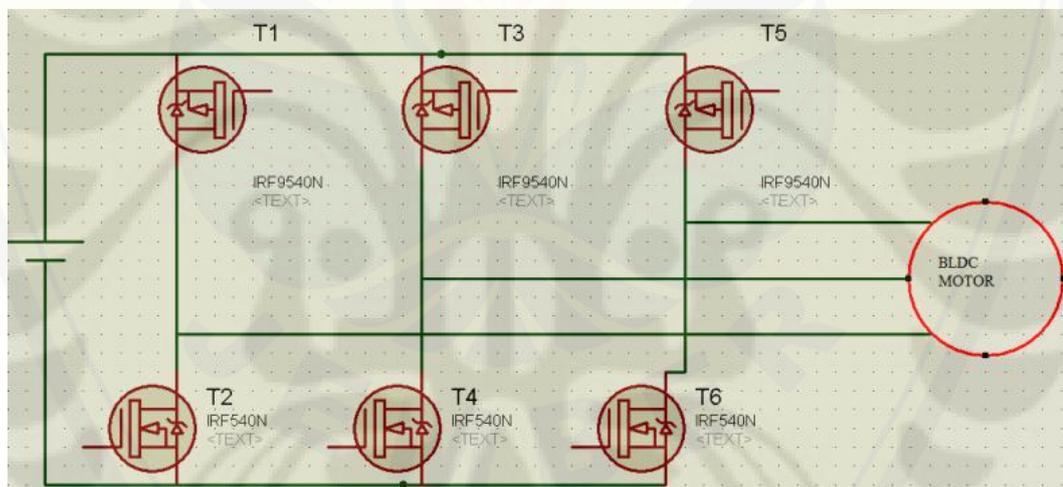


BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor BLDC

“Motor BLDC merupakan motor synchronous 3 fasa. Motor ini disebut dengan BLDC karena pada dasarnya BLDC menggunakan tegangan DC sebagai sumbernya. Hanya saja tegangan ini dikonversi menjadi tegangan AC 3 fasa dengan menggunakan *inverter* dan *driver* 3 fasa. Terdapat 2 metode untuk mengendalikan *inverter* dan *driver* yakni metode six-step dan metode PWM sinusoidal. Pada motor BLDC komersil, metode six-step sering banyak digunakan karena sederhana dan mudah diimplementasikan. Akan tetapi metode six-step memiliki arus rpm lebih tinggi dan cenderung lebih bising dibandingkan dengan metode sinusoidal.” (Darmawan, 2010).

Untuk mengaktifkan *coil* pada motor BLDC, dibutuhkan rangkaian *driver* untuk mengaktifkan motor BLDC, yang mana rangkaian tersebut terdiri dari 6 MOSFET seperti pada gambar 2.1.

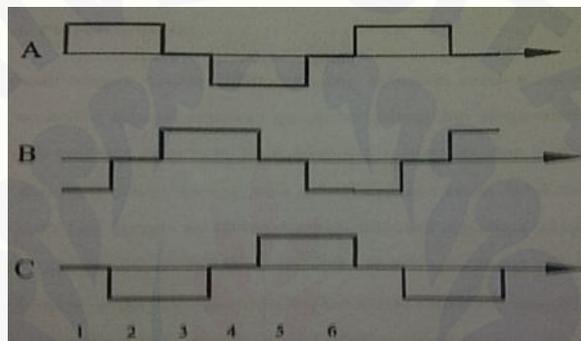


Gambar 2.1 *Driver Inverter* Motor BLDC

(Sumber : Dharmawan, Abe. 2009)

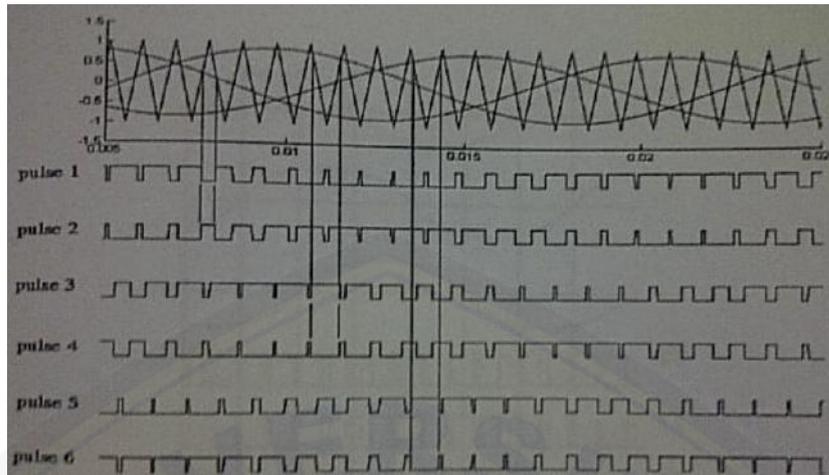
Metode six step merupakan metode yang sering dipakai dalam pengontrolan motor BLDC, karena metode tersebut sederhana dan mudah diimplementasikan. Namun ada kekurangan dari metode tersebut, yaitu memiliki

arus rms yang tinggi, rugi – rugi daya yang tinggi, dan bising. Suara bising ini terjadi karena terbentuk square atau trapezoid timbul gelombang harmonic. Gelombang harmonik ini terjadi, karena PWM yang diinginkan dalam metode ini merupakan PWM *square* dengan frekuensi tertentu sehingga menciptakan gelombang AC yang berbentuk trapezoid atau *square*. Akibat dari gelombang yang terbentuk square atau trapezoid timbul gelombang harmonic. Gelombang harmonik inilah yang menyebabkan motor “bising” saat berputar. Gambar 2.2 merupakan PWM *Six Step* 3 Fasa.



Gambar 2.2 Gambar PWM *Six Step* 3 Fasa
(Sumber : Azzumar, Muhammad. 2012)

Metode yang kedua adalah metode PWM sinusoidal bertujuan untuk menciptakan gelombang sinusoidal sebagai masukan motor. Metode ini memiliki kelebihan disbanding dengan metode six step, yaitu memiliki arus rms yang lebih kecil, rugi – rugi yang kecil, dan tidak bising karena pada gelombang sinusoidal tidak terdapat harmonik. Namun ada kekurangan dari metode ini yaitu algoritma yang rumit dalam pembangkitan sinyal PWM sinusoidal. Dalam proses pembangkitan PWM sinusoidal dibutuhkan sinyal segitiga dengan frekuensi lebih besar daripada sinyal sinusoidal. Dari sinyal sinusoidal dengan sinyal segitiga akan dibandingkan. Kemudian sinyal PWM terbentuk dari perpotongan antara sinyal segitiga dan sinyal *sinusoidal* pada dua titik. Berikut gambar pembentuk sinyal PWM *sinusoidal*. Untuk gambar pengabungan sinyal segitiga dan sinyal sinusoidal bis adilihat pad gambar 2.3.



Gambar2.3 Pembuatan Sinyal Sinoidal

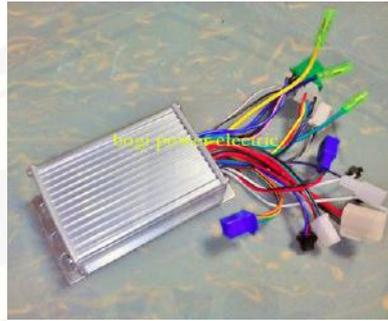
(Sumber : Azzumar, Muhammad. 2012)

2.2 Controller Motor BLDC

“Secara fungsional controller BLDC memiliki fungsi utama menjadikan driver pemutar motor BLDC dan mengatur putarannya. Jika sekilas kita melihat memang terkesan ribet dan sulit controller itu. Namun sebenarnya dapat kita pahami dengan sederhana secara mudah. Maka dari itu electricisart bogipower.com merilis bagaimana sebuah controller mampu bekerja mengatur putaran motor BLDC”. (Husaini, Nur Achmad. 2015. Prinsip Kerja Motor Brushless DC (BLDC Motor). <http://www.insinyoer.com/prinsip-kerja-motor-brushless-dc-bldc-motor/2/>)

“Kontroler pada motor BLDC ibarat otak pada manusia. Tugas kontroler antara lain mengatur proses komutasi. Setelah mendapat input dari sensor, kontroler dapat menentukan lilitan mana yang harus dialiri listrik agar motor dapat berputar. Selain itu, kontroler juga berfungsi sebagai pengatur tegangan input pada motor, sehingga kecepatan putar motor dapat berubah-ubah sesuai keinginan pengguna. Sedangkan driver merupakan rangkaian yang berada dalam kendali kontroler yang berfungsi sebagai pembantu kontroler dalam proses komutasi”. (Prasetyo, Brilian. 2016. <http://www.bogipower.com/2015/09/kontroler-bldc-sensorless.html>)

Controller motor BLDC memiliki spesifikasi tertentu sesuai dengan tipe dan merek *controller* tersebut. Spesifikasi *controller* tersebut biasanya berupa tegangan minimal dapat beroperasi, arus maksimal, dan daya dari *controller* tersebut. Berikut gambar 2.4 contoh *controller* motor BLDC.



Gambar 2.4 Contoh *Controller* Motor BLDC Pabrik

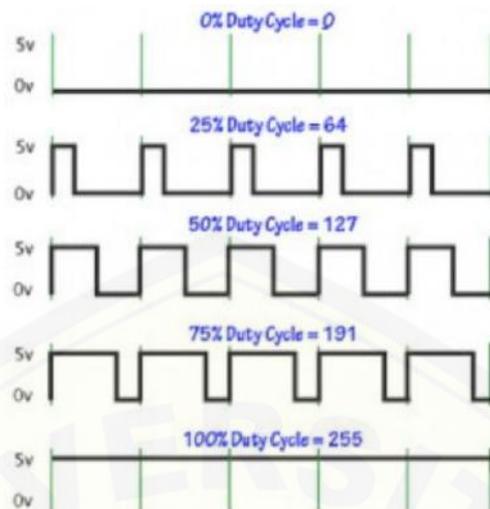
(Sumber : Prasetyo, Brilian. 2016.

<http://www.bogipower.com/2015/09/kontroller-blcd-sensorless.html>)

2.3 PWM

“Pulse Width Modulation (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu periode, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Beberapa Contoh aplikasi PWM adalah pemodulasian data untuk telekomunikasi, pengontrolan daya atau tegangan yang masuk ke beban, regulator tegangan, audio effect dan penguatan, serta aplikasi-aplikasi lainnya”. (Maulana, 2012)

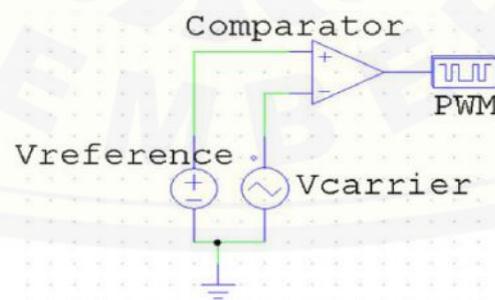
Sinal PWM memiliki frekuensi dan amplitude dasar yang sama, hanya saja lebar pulsa dari sinyal ini yang bervariasi. Variasi lebar pulsa inilah yang dinamakan *duty cycle*, yang memiliki variasi antara 0% sampai 100%. Gambar 2.5 menunjukkan variasi *duty cycle* sinyal PWM dari 0% hingga 100% dengan resolusi 8 bit.



Gambar 2.5 Variasi PWM Antara 0% Sampai 100% dengan Resolusi 8 bit

(Sumber : Haryanto, Toni. 2016. <https://www.codepolitan.com/tutorial/analog-output-arduino-menggunakan-pwm-pulse-width-modulation>)

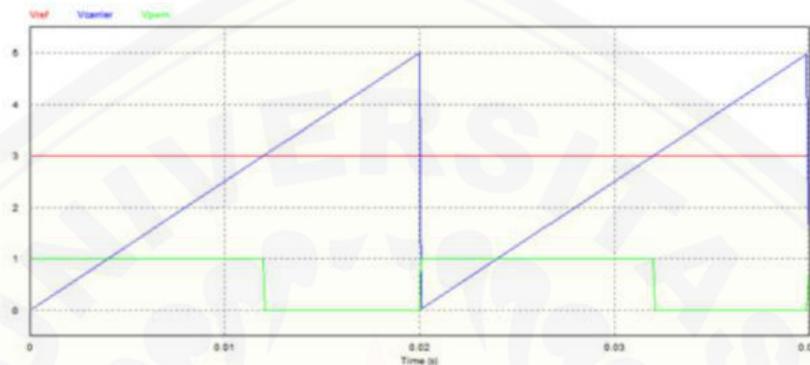
Dari cara pembangkitan sinyalnya, PWM dibedakan menjadi dua jenis yaitu PWM sinyal analog, dan PWM sinyal digital. Pertama adalah sinyal PWM analog, sinyal PWM ini dapat dibangkitkan dengan cara sederhana yaitu dengan menggunakan rangkaian op-amp *comparator*. Cara menghasilkan sinyal PWM analog ini dengan membandingkan nilai dari tegangan *referensi* dan tegangan *carrier*, yang mana tegangan *carrier* ini berupa sinyal gigi gergaji. Untuk gambar sekema rangkaian pembangkit sinyal PWM analog dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Sekema Rangkaian PWM Analog

(Sumber : Prayogo, Rudito. 2012)

Ketika tegangan *reverensi* lebih besar daripada tegangan *carrier*, maka output *comparator* akan bernilai *high*. Namun ketika tegangan *reverensi* lebih kecil daripada tegangan *carrier*, maka output *comparator* akan bernilai *low*. Untuk gambar perbandingan tegangan *carrier* dengan tegangan *reverensi* dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Pembentukan Sinyal PWM

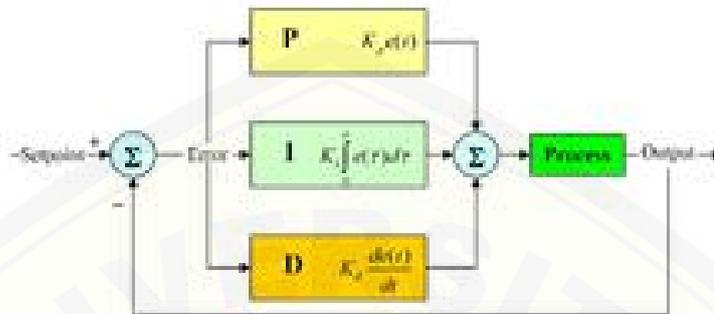
(Sumber : Prayogo, Rudito. 2012)

Garis warna merah menunjukkan tegangan *reverensi*, garis warna biru menunjukkan tegangan *carrier*, dan garis warna hijau menunjukkan output tegangan dari op-amp *comparator*. Kedua adalah PWM digital, sinyal PWM ini dapat dihasilkan dari rangkaian elektronik kontroler, seperti Arduino. Pembangkitan sinyal PWM dengan cara digital memiliki perubahan sinyal yang kurang halus dibandingkan dengan cara analog, karena perubahan sinyal PWM digital dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri. Misalnya pwm digital 8 *bit*, berarti PWM tersebut memiliki resolusi 2^8 , dalam desimal nilai resolusinya sama dengan 256. Maksud dari nilai 256 adalah PWM memiliki nilai yang bervariasi dari 0 – 255, sehingga variasi nilai dari PWM adalah 256.

2.4 PID

Kontrol PID merupakan kontrol yang sering digunakan dalam dunia industri. Kontrol ini biasanya digunakan untuk pengontrolan motor listrik yang digunakan untuk mengontrol *konveyor*, pompa untuk pengeboran minyak, dan

lain-lain. Kontrol ini merupakan kontrol umpan balik yang sering dipakai pada sistem kontrol industri. Berikut gambar 2.8 adalah diagram system dari Kontrol PID.



Gambar 2.8 Diagram Sistem Kontrol PID

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

PID berasal dari singkatan Bahasa Inggris, yaitu *Proportional–Integral–Derivative*. Dari ketiga term pengendali *Proportional–Integral–Derivative*, kemudian dijumlahkan menjadi *variabel* manipulasi, untuk menghitung keluaran kontroler PID. Dengan mendefinisikan $u(t)$ sebagai keluaran kontroler, maka bentuk akhir dari algoritma PID adalah:

$$u(t) = P(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Dengan kererangan

K_p : *Gain Proporsional*, parameter *tuning*

K_i : *Gain Integral*, parameter *tuning*

K_d : *Gain Derivatif*, parameter *tuning*

e : Error = $Y_{sp} - Y_m$

Y_{sp} : *Setpoint*

Y_m : *Variable proses*

t : Waktu

τ : *Variable integral*; nilainya diaambil dari waktu nol sampai t .

Berikut adalah *Transfer* fungsi kontrol PID dalam bentuk *domain laplace*, yang mana “*s*” sebagai frekuensi bilangan kompleks:

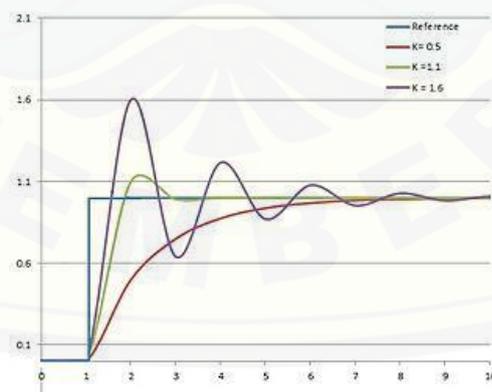
$$L(s) = K_p + K_i/s + K_d s$$

Term proporsional menghasilkan nilai output yang nilainya berbanding lurus dengan nilai *error*. Respon *term proporsional* diatur dengan menghaliakn *error* dengan konstanta K_p . Untuk rumus dari *term proporsional* adalah sebagai berikut :

$$P_{Out} = K_p e(t)$$

$$P_{Out} = K_p (Y_{sp} - Y_m)$$

Konstanta K_p disebut juga konstanta *gain proporsional* atau *gain* kontroler, yang berpengaruh pada output sistem. Jika konstanta K_p besar maka akan menghasilkan perubahan yang besar pada *output* untuk suatu nilai *error*. Namun, jika konstanta K_p terlalu besar, mengakibatkan *system* tidak stabil. Jika konstanta K_p terlalu kecil akan mengakibatkan respon output yang kecil, sehingga *system* menjadi kurang *responsive* terhadap gangguan. Gambar 2.9 merupakan ilustrasi dari pengaruh konstanta K_p terhadap respon kontrol PID.



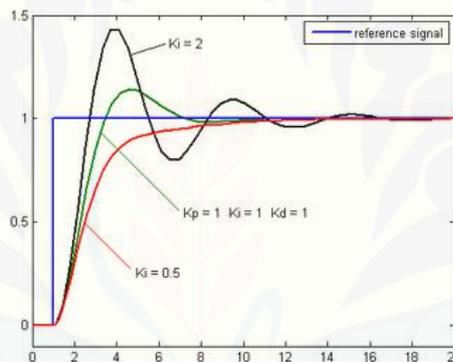
Gambar 2.9 Pengaruh Konstanta K_p Terhadap Respon Kontrol PID

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

Term integrali berfungsi untuk mempercepat sistem menuju setpoint, namun akan menghilangkan *steady-state error* yang muncul pada kontroler *proporsional*. Kekurangan dari kontrol ini yaitu dapat menyebabkan *overshoot*, karena *integral* merespon terhadap *error* terakumulasi dari sebelumnya. *Output* didapat dari mengakumulasi *error* dan dikalikan dengan konstanta *integrator*. Untuk rumus dari *term integrali* adalah sebagai berikut :

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$$

Gambar 2.10 merupakan ilustrasi dari pengaruh konstanta K_i terhadap respon kontrol PID.



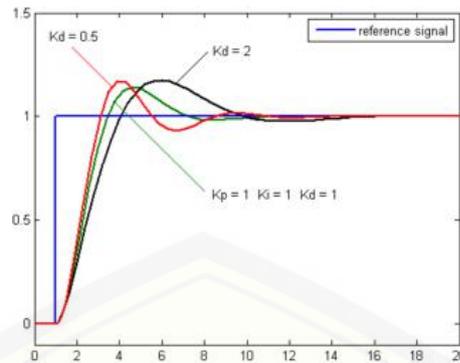
Gambar 2.10 Pengaruh konstanta K_i terhadap respon kontrol PID

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

Term derivative memprediksi perilaku sistem dan kemudian memperbaiki waktu tinggal dan stabilitas sistem. Medapatkan output dari sistem yaitu dengan turunan error pada proses dihitung dengan menentukan kemiringan error setiap waktu dan mengalikan perubahan tiap waktu dengan konstanta K_d . Untuk rumus dari *term proporsional* adalah sebagai berikut :

$$D_{out} = K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Gambar 2.11 merupakan ilustrasi dari pengaruh konstanta K_d terhadap respon kontrol PID

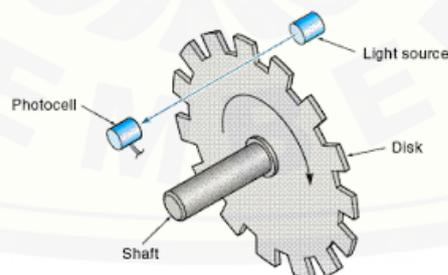


Gambar 2.11 Pengaruh Konstanta K_d Terhadap Respon Kontrol PID

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

2.5 Sensor *Rotary Encoder*

Sensor *rotary encoder* merupakan yang dapat difungsikan untuk memonitoring gerakan dan posisi dari putaran. Sensor ini memiliki tiga bagian utama yaitu piringan, *transmitter*, dan *receiver*. Piringan tersebut memiliki bayak lubang atau gerigi yang mana lubang atau gerigi itu daerah yang dilalui sinar dari *transmitter* menuju *receiver*. *Transmitter* merupakan bagian pengirim yang berupa LED dan *receiver* merupakan bagian penerima yang berupa *fototransistor*. Untuk posisi piringan, *transmitter*, dan *receiver* pada *rotary encoder* bisa dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Desain Umum *Rotary Encoder*

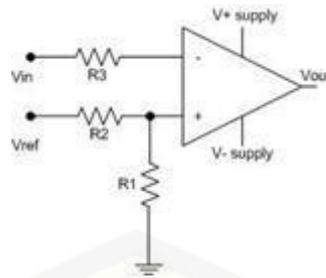
(Sumber : Brian, F. A. 2012. <http://www.fabrian.web.id/2012/01/membuat-rangkaian-sensor-kecepatan.html>)

Prinsi kerja dari sensor *rotary encoder* adalah piringan yang berputar diantara *transmitter*, dan *receiver* akan menghambat. Di sisi lain *transmitter* memancarkan sinar cahaya yang mana cahaya tersebut akan ditangkap oleh *receiver* melewati lubang-lubang dari piringan tersebut. Jika sinar cahaya yang dipancarkan *transmitter* ke *receiver* tidak terhalang oleh piringan, maka, photo-transistor yang mana merupakan *receiver* akan mengalami saturasi dan akan menghasilkan suatu pulsa gelombang persegi. Semakin banyak lubang atau gerigi pada piringan sensor rotary tersebut maka semakin akurat data yang dihasilkan dari sensor tersebut.

2.6 OP-AMP (*Operational Amplifier*)

Penguat *Operational Amplifier* (Op-Amp) merupakan rangkaian terintegrasi yang berisi beberapa tingkat dan konfigurasi penguat *diferensial*. Penguatan tersebut memiliki dua masukan dan satu keluaran. Penguatan ini memerlukan tegangan *simetris*, yang terdiri dari tiga tegangan positif (+V), tegangan negatif (-V), dan tegangan GND, tegangan simetris ini digunakan untuk *suplay* penguatan *operasional* agar dapat bekerja dengan baik.

Komparator Op-Amp adalah komponen elektronik yang berfungsi membandingkan nilai tegangan input dan tegangan referensi. Dari perbandingan tegangan tadi, maka dihasilkan output tersebut. Jika kedua input pada Op-Amp pada kondisi *open-loop*, maka menghasilkan tegangan *saturasi* positif (+V_{sat}) atau *saturasi* negatif (-V_{sat}) dari perbandingan kedua tegangan *input* tersebut. Gambar 2.13 merupakan rangkaian *comparator* sederhana.



Gambar 2.13 Sekema Rangkaian *Comparator* Sederhana

(Sumber : Sitorus, P. Binsar. Konverter Analog ke Digital.

http://brightsiteofmylife.blogspot.co.id/2011_01_01_archive.html)

Pada rangkaian *comparator* tersebut tegangan referensi diambil dari tegangan $+V_{supply}$. Sehingga nilai dari tegangan referensi biasa didapatkan dengan perhitungan $V = (R1 / (R1 + R2)) \times V_{supply}$.

Secara umum prinsip dari *comparator* Op-Amp adalah sebagai berikut:

$+Vin \geq -Vin$ maka $Vo = V_{sat+}$

$+Vin < -Vin$ maka $Vo = V_{sat-}$

Keterangan :

$+Vin$ = Amplitudo sinyal input tak membalik (V)

$-Vin$ = Amplitudo sinyal input membalik (V)

V_{sat+} = Tegangan saturasi + (V)

V_{sat-} = Tegangan saturasi - (V)

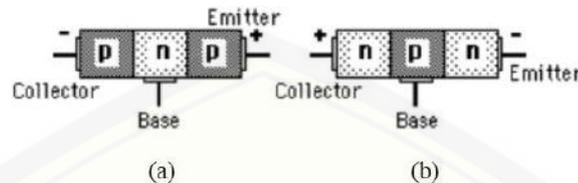
Vo = Tegangan output (V)

2.7 Transistor

“Transistor adalah alat semikonduktor yang dipakai sebagai penguat, sirkuit pemutus dan penyambung (switching), stabilisasi tegangan, modulasi sinyal atau sebagai fungsi lainnya. Transistor dapat berperan sebagai kran listrik, dimana berdasarkan arus inputnya (BJT) atau tegangan inputnya (FET), memungkinkan pengaliran listrik yang sangat akurat dari sirkuit sumber listriknya.” (Didit, 2012)

Transistor merupakan sebuah alat yang terbuat dari bahan semikonduktor, dan terdiri dari tiga lapisan tergantung dari tipe transistor tersebut. Untuk tipe pnp terdiri dari lapisan tipe $-n$ yang diapit dua lapisan tipe $-p$. Untuk tipe npn terdiri

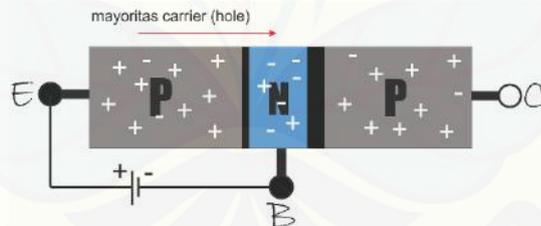
dari lapisan tipe $-p$ yang diapati dua laipsan tipe $-n$. ketiga lapisan tersebut tersambung ke terminal yang dikenal degang *collector* (C), *basis* (B), *emitor* (E). Untuk lebih jelas bisa dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Transistor Tipe (a)pnp, dan Transistor Tipe (b)nnp

(Sumber : Ryan. 2010. <http://ryanserodja.blogspot.co.id/2010/06/transistor-jenis-npn-dan-jenis-pnp.html>)

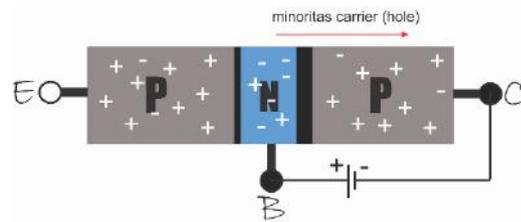
Untuk prinsip kerja dari transistor diambil contoh transistor tipe pnp. Ketika tegangan bias pada *basis – kolektor* dihilangkan mengakibatkan daerah *depleksi* mengeci. Mengecilnya daerah *depleksi* disebabkan karena adanya pembiasan, akibatnya akan ada aliran pembawa mayoritas dari lapisan p ke n. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 *Forward Bias* Pada Salah Satu *Jungtion* dari Transistor dengan Menghilangkan Tegangan V_{CC}

(Sumber : Charles. 2013. <http://zarles.blogspot.co.id/2013/01/transistor-dan-cara-kerjanya.html>)

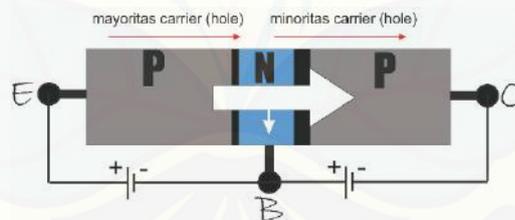
Ketika kondisi dibalik tegangan bias pada *basis – emitor* yang dihilangkan maka aliran mayoritas mengalir dan yang akan muncul adalah aliran pembawa minoritas. Kondisi ini biasa dilihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 *Forward Bias* Pada Salah Satu *Jungtion* dari Transistor dengan Menghilangkan Tegangan V_{EE}

(Sumber : Charles. 2013. <http://zarles.blogspot.co.id/2013/01/transistor-dan-cara-kerjanya.html>)

Ketika kondisi bias pada *basis – emitor* dan *basis – kolektor* dipasang seperti pada gambar 2.17, maka arus pembawa mayoritas dan pembawa minoritas akan muncul melewati daerah persambungan (*junction*). Arus yang keluar dari terminal basis sangat kecil, karena lapisan n memiliki lapisan yang tipis, dan konduktivitas rendah. Kondisi tersebut mengakibatkan sebagian besar pembawa mayoritas akan langsung terdifusi melewati *junction* yang terbias *reverse* kedalam material tipe p pada terminal *collector*.



Gambar 2.17 Aliran Pembawa Mayoritas dan Minoritas pada Transistor pnp

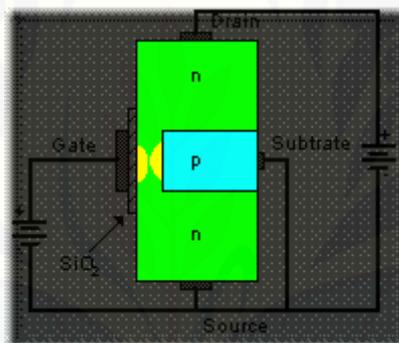
(Sumber : Charles. 2013. <http://zarles.blogspot.co.id/2013/01/transistor-dan-cara-kerjanya.html>)

2.8 Mosfet

“Mosfet adalah termasuk keluarga dari transistor FET (Field Effect Transistor) atau bila dibahasa indonesiakan adalah Transistor Efek Medan, Bedanya MOSFET mempunyai gerbang (gate) logam yang secara listrik terisolasi dari semikonduktor oleh selaput oksida tipis. Oleh sebab itu ia ketambahan MOS didepan FET, yang merupakan singkatan dari Metal Oxide Silicon (MOS), silikon

oksida logam. Dengan adanya lapisan oksida ini (yang bersifat isolator), maka resistansi masukan MOSFET jauh lebih tinggi daripada JFET (Junction FET).” (Romli. 2015. <http://www.romli.net/2015/02/apa-itu-mosfet.html>)

Bila dilihat dari cara kerjanya, transistor mosfet dapat dibagi menjadi dua, yaitu transistor mode pengosongan (transistor mode *depletion*) dan transistor mode peningkatan (transistor mode *enhancement*). Pertama adalah transistor mode pengosongan, yang mana diantara *drain* dan *source* dihubungkan sebuah saluran seperti celah yang merupakan tempat mengalirnya electron bebas, saluran celah tersebut diilustrasikan dengan warna kuning pada gambar 2.18. Untuk lebih jelas prinsip kerja dari MOSFET bisa dilihat pada gambar 2.18, yang mana contoh dari Transistor MOSFET Mode *Depletion* tipe N-Channel.

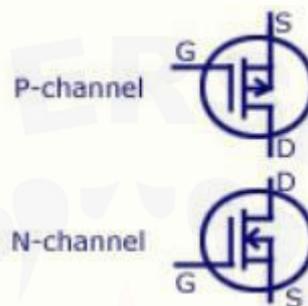


Gambar 2.19 Struktur MOSFET *Depletion-mode*

(Sumber : Toruan, Henry. 2009. <http://henry-toruan.blogspot.co.id/2009/12/transistor-fet.html>)

Pada gambar 2.20 warna biru disebut substrat p, dan gate disini terbuat dari bahan metal (seperti aluminium) dan terisolasi oleh bahan oksida tipis SiO_2 . Biasanya substrat p dihubungkan dengan *source*, ini bertujuan agar saluran celah tadi dapat terbuka maksimal. Dengan kondisi ini untuk pengaturan pembukaan lebar saluran celah dapat diatur hanya dengan mengatur tegangan *gate* terhadap *source*. Dengan menghubungkan singkat *substrat* p dengan *source* diharapkan celah tersebut dapat terbuka maksimal. Tegangan *gate* terhadap *source* semakin negative maka arus yang melewati semakin kecil. Selanjutnya jika tegangan *gate* dinaikkan sama

dengan tegangan source, arus yang melewati celah akan mulai mengalir ketika tegangan gate terhadap *source* bernilai 0, dan akan terus bertambah jika tegangan gate terhadap *source* semakin dinaikkan. Ketika tegangan *gate* terhadap *source* dari nilai 0 diturunkan maka arus yang melewati saluran celah mengecil dan bahkan tidak ada arus yang mengalir atau bernilai 0. Gambar 2.20 merupakan Transistor mode pengosongan terdiri dari tipe-N dan tipe-P.

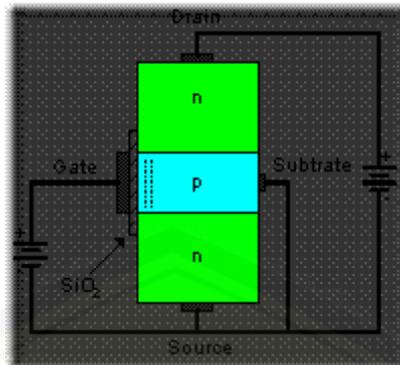


Gambar 2.20 Simbol Transistor MOSFET Mode *Depletion* P-Channel *Depletion*, dan Transistor MOSFET Mode *Depletion* N-Channel *Depletion*

(Sumber : Haryanto, Wawan. 2012.

<http://wawanhar.blogspot.co.id/2012/03/symbol-simbol-elektronika.html>)

Berikutnya adalah transis MOSFET *enhancement-mode*, yang mana diantara *drain* dan *source* dipisahkan oleh sebuah *substrate*, *substrate* tersebut diilustrasikan dengan warna biru pada gambar 2.21 ,dan *gate* terbuat dari metal aluminium dan terisolasi oleh lapisan SiO_2 . Untuk lebih jelas prinsip kerja dari MOSFET bisa dilihat pada gambar 2.21, yang mana contoh dari Transistor MOSFET Mode *Enhancement* tipe N-Chanel.

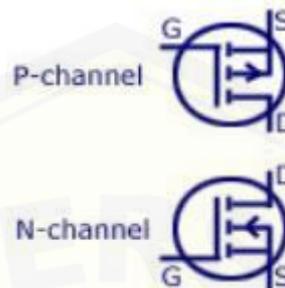


Gambar 2.21 Struktur Mosfet *Enhancement-mode*

(Sumber : Toruan, Henry. 2009. <http://henry-toruan.blogspot.co.id/2009/12/transistor-fet.html>)

Pada MOSFET Mode *Enhancement subtract* dibuat samapai menyentuh *gate*. Dengan kondisi ini untuk pengaturan pembukaan lebar saluran celah dapat diatur hanya dengan mengatur tegangan *gate* terhadap *source*. Dengan menghubungkan singkat substrat p dengan *source* diharapkan ketebalan. Ketika tegangan *gate* terhadap *source* bernilai minus, tidak ada arus pada *drain source*, begitu juga ketika tegangan *gate* terhadap *source* bernilai 0. Ketika tegangan *gate* terhadap *source* menjadi positif dengan *substrat* tersambung dengan *source*, tegangan *gate* terhadap *substrat* juga positif. Kemudian elektro-elektron akan tertarik pada lapisan *substrat* p dan bergabung dengan *hole* pada lapisan *substrat* p, karena pengaruh tegangan positif. Electron-elektron tadi mengumpul lebih dahulu dan lebih banyak di *substrat* yang berbatasan dengan *gate* karena memiliki potensial lebih positif. Walau electron-elektron tersebut mengumpul di *substrat* yang berbatasan dengan *gate*, namun elektro-elektron tersebut tidak bisa mengalir menuju *gate* karena *gate* karena terisolasi oleh bahan insulator SiO₂ (kaca). “Jika tegangan *gate* cukup positif maka tumpukan electron akan menyebabkan terbentuknya semacam lapisan n yang negative dan seketika itu arus drain dan source dapat mengalir. Lapisan yang terbentuk ini disebut dengan istilah inversion layer. Kira-kira terjemahnya adalah lapisan dengan tipe p, maka lapisan inversion yang terbentuk adalah bermuatan negative atau tipe n.” (Publkan Polyteknik Negeri Bandung). Tegangan minimum untuk bisa mengalirkan arus

drain dan *source* ini disebut tegangan *threshold* $V_{GS(th)}$, yang nilai tegangan *threshold* $V_{GS(th)}$ tercantum pada *datasheet*. Gambar 2.22 merupakan Transistor mode pengosongan terdiri dari tipe-N dan tipe-P.



Gambar 2.22 Simbol Transistor MOSFET Mode *Depletion* (a) N-Channel *Depletion* (b) P-Channel *Depletion*

(Sumber : Haryanto, Wawan. 2012.

<http://wawanhar.blogspot.co.id/2012/03/symbol-simbol-elektronika.html>)

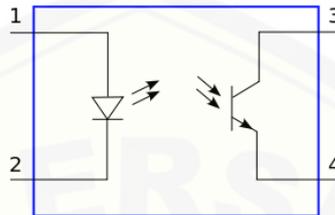
2.9 Optocoupler

“*Optocoupler* adalah komponen elektronika yang berfungsi sebagai penghubung berdasarkan cahaya optik. Pada dasarnya *Optocoupler* terdiri dari 2 bagian utama yaitu *Transmitter* yang berfungsi sebagai pengirim cahaya optik dan *Receiver* yang berfungsi sebagai pendeteksi sumber cahaya.” (Utomo, dan Sunyoto, 2015).

Prinsip dari komponen tersebut adalah ketika *transmitter* aktif maka akan memancarkan sinar dan sinar tersebut akan mengenai *receiver* yang berupa led inframerah, maka *Transmitter* yang berupa *fototransistor* akan aktif sehingga menyebabkan tegangan pada *collektor* dan *emitor* dalam kondisi hubungan singkat. Namun tegangan pada *collektor* dan *emitor* dalam kondisi hubungan terbuka jika *receiver* tidak aktif, karena *fototransistor* tidak mendapatkan pancaran sinar dari *receiver*.

Kata *Optocoupler* terdiri dari dua kata yaitu *opto* berarti *optic* dan *coupler* berarti pemicu. Dari dua kata tersebut bisa diartikan, *optocoupler* merupakan sebuah piranti yang bekerja karena disebabkan picuan cahaya. *Optocoupler* ini

sering dimanfaatkan sebagai pemacu untuk rangkaian lain yang memiliki power lebih besar dari pada rangkain *control*, dan sekaligus pemisah diantara kedua rangkaian tersebut. Gambar 2.23 merupakan gambar dari penampakan rangakain didalam *optocopler*.



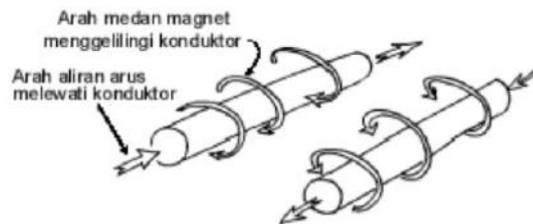
Gambar 2.23 *Optocouler* Secara Umum

(Sumber : Afif. 2008. <http://mochafif.blogspot.co.id/>)

2.10 Motor DC

“Motor DC adalah motor listrik yang memerlukan suplai tegangan arus searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi gerak mekanik. Kumparan medan pada motor dc disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Motor arus searah, sebagaimana namanya, menggunakan arus langsung yang tidak langsung/ direct-unidirectional.”(Sumber : Purnama, A. 2012. <http://elektronika-dasar.web.id/teori-motor-dc-dan-jenis-jenis-motor-dc/>)

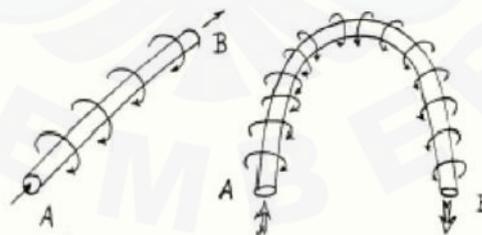
Prindasar dari kerja motor DC berawal dari sebuah penghantar yang di aliri arus DC yang berada di dalam pengaruh medan magnet antara kutub utara dan kutub selatan. Karena dialiri arus listrik maka konduktor tersebut memiliki medan, dan arah medan tersebut ditentukan dengan arah aliran listrik. Gambar 2.24 merupakan arah medan dari kumparan yang dialiri arus.



Gambar 2.24 Arah Medan Pada Penghantar

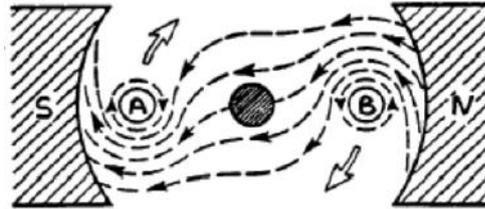
(Sumber : Thole. 2012. <http://teorick.blogspot.co.id/2012/10/prinsip-kerja-motor-dc.html#>)

Karena ada medan di antara penghantar dan dua kutub magnet, maka akan ada tolakan di antara medan konduktor dan magnet. Jika konduktor berbentuk U (angker dinamo) maka seperti gambar 2.25 dan peletaknya seperti terlihat pada gambar 2.26, yang mana lingkaran A dan lingkaran B merupakan ujung dari konduktor, maka konduktor berputar searah jarum jam. Konduktor A memiliki medan yang searah dengan arah jarum jam, sehingga akan menambah kuat medan dibagian bawah konduktor. Dari kondisi tersebut konduktor A berusaha keluar dari medan dengan bergerak ke atas. Konduktor B memiliki medan yang berlawanan searah dengan arah jarum jam, sehingga akan menambah kuat medan dibagian atas konduktor. Dari kondisi tersebut konduktor B berusaha keluar dari medan dengan bergerak ke bawah.



Gambar 2.25 Konduktor Berbentuk U (Angker Dinamo)

(Sumber : Thole. 2012. <http://teorick.blogspot.co.id/2012/10/prinsip-kerja-motor-dc.html#>)



Gambar 2.26 Medan Konduktor U di Dalam Medan Magnet

(Sumber : Thole. 2012. <http://teorick.blogspot.co.id/2012/10/prinsip-kerja-motor-dc.html#>)

2.11 Arduino

Arduino merupakan pengendali mikro *single-board* yang bersifat *open-source*, sehingga siapa saja dapat menggunakannya untuk peralatan elektronik interaktif berdasarkan hardware dan software yang fleksibel dan mudah digunakan. Arduino terdapat *hardware* yang memiliki prosesor Atmel AVR dan software yang memiliki bahasa pemrograman sendiri. “**Arduino** menggunakan keluarga mikrokontroler ATmega yang dirilis oleh Atmel sebagai basis, namun ada individu/perusahaan yang membuat *clone* arduino dengan menggunakan mikrokontroler lain dan tetap kompatibel dengan arduino pada level hardware.” (<https://id.wikipedia.org/wiki/Arduino>). Adapun beberapa orang yang membuat sendiri Arduino dari atau bisa dibilang *clone* arduino dari mikrokontroler ATmega dan tetap kompatibel dengan arduino pada level hardware. Berikut gambar 2.27 adalah bentuk dari *hardware* Arduino.



Gambar 2.27 Arduino Uno

(Sumber : Castle, Alex. 2013. Know Your Arduino: A Practical Guide to The Most Common Boards <http://www.tested.com/tech/robots/456466-know-your-arduino-guide-most-common-boards/>)

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian “Pengendalian Kecepatan Motor BLDC pada Keranjang Pembawa Barang Belanja dengan Metode Kontrol PID” pada bulan Agustus 2015 sampai Desember 2016. Untuk tempat pelaksanaan penelitian dilaksanakan di kos dan kampus Fakultas Teknik Universitas Jember, lebih di Laboratorium Dasar Elektronika dan juga Laboratorium Elektronika Terapan Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

3.2.1 Hardware

1. Arduino ATmega 328
2. Sensor *Rotary Encoder*
3. Motor BLDC
4. *Controller* Motor BLDC
5. Motor DC 12 V
6. *Comparator* (LM 339)
7. Aki Basah 12 V 5 Ah
8. Laptop

3.2.2 Software

1. Arduino *IDE*.
2. *Eagle Layout Editor*.
3. *Matlab R2012*

3.3 Tahap Penelitian

Dalam penelitian dan pembuatan alat tersebut dibutuhkan langkah – langkah sebagai berikut :

1. Studi literatur

Tahap awal dari penelitian ini mencari literatur dari hasil penelitian sebelumnya, untuk mengetahui karakteristik komponen yang digunakan, serta teori yang menunjang lainnya. Diharapkan dengan literature yang didapat bisa memberikan arahan untuk mengurangi kesalahan dalam penelitian.

2. Pembelian alat dan bahan

Tahapan kedua adalah pembelian bahan – bahan dan komponen-komponen yang dibutuhkan untuk membuat alat.

3. Pengerjaan perangkat keras

Tahap ketiga adalah proses pengerjaan pembuatan alat yang meliputi pembuatan perangkat mekanik dan elektronik dari bahan yang telah dibeli.

4. Penghubungan perangkat keras

Tahap keempat adalah menghubungkan perangkat keras yang telah dirancang sebelumnya sehingga menjadi perangkat keras yang mampu bekerja secara menyeluruh di dalam sebuah system.

5. Sinkronisasi perangkat keras dan lunak

Tahap kelima adalah menghubungkan perangkat keras dan perangkat lunak yang telah dirancang sebelumnya, yaitu mengkoordinasikan antara keduanya agar dapat berkerja dengan baik serta sesuai dengan harapan.

6. Pengujian alat

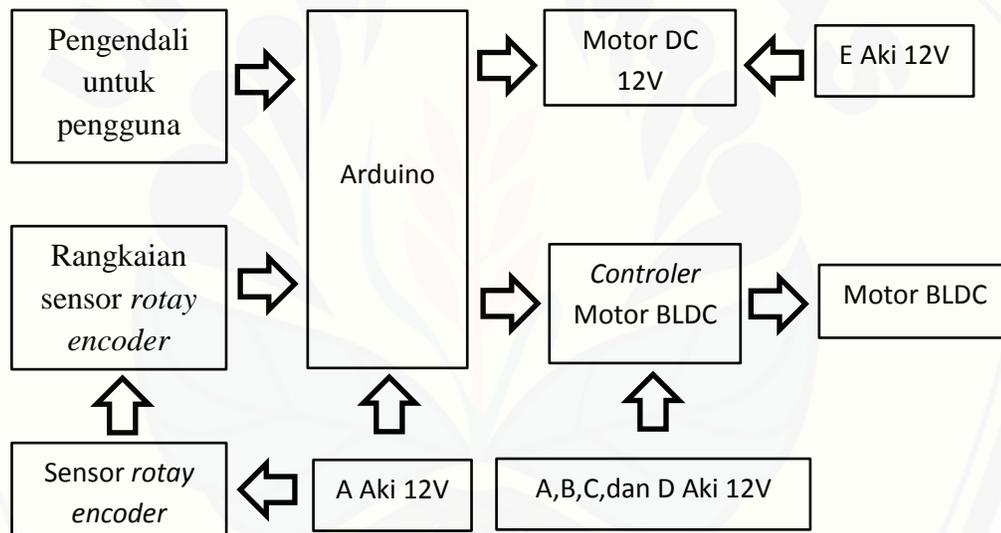
Tahap keenam adalah pengujian alat, yaitu diharapkan dengan adanya tahap ini perangkat keras dan perangkat lunak mampu berfungsi dengan baik. Serta menguji apakah sistem sudah terintegrasi secara menyeluruh sehingga nantinya alat yang telah dibuat dapat bekerja dengan maksimal.

7. Analisa sistem

Tahap akhir adalah menganalisa kinerja alat, baik yang berupa perangkat keras maupun perangkat lunak pada sistem yang diuji sehingga diharapkan dengan adanya tahap ini perangkat keras dan perangkat lunak mampu bekerja dengan baik. Setelah di uji sehingga diharapkan dari analisa keseluruhan sistem dari perangkat dapat ditemukan suatu pembahasan serta analisa dan dapat mengambil suatu kesimpulan.

3.4 Diagram Blok

Pembuatan perangkat keras ini berdasarkan diagram blok sistem sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram Blok Perancangan Perangkat Keras

Ketrangan dari diagram blok :

1. Pengendali untuk pengguna berfungsi seperti stik pada games, menendalikan dengan memberikan logika high atau low untuk berikutnya diolah oleh arduino.
2. Sensor *rotary encoder* berfungsi merubah gerak putaran dari motor BLDC menjadi sinyal high dan low, yang kemudian diolah rangkaian sensor *rotary encode*.
3. Rangkaian sensor *rotary encode* berfungsi merubah sinyal dari sensor rotary encoder dari sinyal yang terlalu kecil yang belum bisa dibaca oleh Arduino

menjadi sinyal yang lebih besar sehingga bisa dibaca oleh Arduino untuk dikonfersikan menjadi *counter*.

4. Arduino digunakan sebagai pusat pengendali dari keseluruhan sistem alat sehingga dapat digunakan sesuai dengan keinginan operator.
5. Motor DC berfungsi untuk membelokkan roda pembelok yang terletak dibagian depan alat.
6. Controller motor BLDC berfungsi untuk mengontrol putaran dari motor BLDC.
7. Motor BLDC berfungsi sebagai penggerak keranjang alat.

Input dari perancangan ini keluaran dari rangkaian pengendali untuk pengguna yang memiliki 3 keluaran yang masing masing memiliki kondisi logika high atau low. Dari kondisi logika ini akan diolah arduino untuk pergerakan moro DC, dan motor BLDC melalui *controller* motor BLDC. Untuk pergeran motor BLDC akan diatur putarannya dengan metode PID oleh Arduino. Dimana masukan *counter* berfungsi sebagai *fitbag* dari control PID yang didapat dari sensor *rotary encoder* kemudian sinyalnya diperkuat oleh rangkain sensor *rotary encoder*.

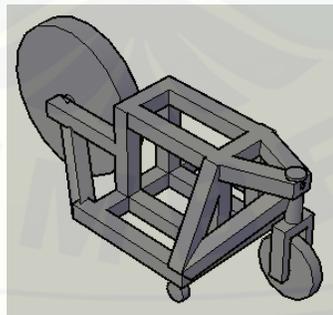
Supplay tenaga listrik dari dari alat ada tiga *supply* tegangan, yang mana ketiga sumber tersebut tersusun dari 5 buah aki basah 12 volt. *Supplay* tegangan pertama yaitu A Aki dengan tegangan output 12 volt yang mana merupakan bagian dari *supplay* tegangan untuk *controller* motor BLDC, yang terletak pada bagian negative 48 volt, berfungsi menyuplay tegangan untuk Arduino, dan sensor *rotary encoder*. *Supplay* tegaangan kedua yaitu E Aki dengan tegangan output 12 volt, berfungsi menyuplay tegangan untuk motor DC 12 volt. *Supplay* ketiga terdiri dari 4 buah aki basah 12 volt yang disusun seri sehingga tegangan output 48 volt, berfungsi menyuplay tegangan untuk *controller* motor BLDC.

3.5 Perancangan Mekanik

Hasi dari perancangan alat secara garis besar adalah sebuah kerangka mekanik yang terbuat dari besi “L”, dan pada kerangka tersebut terpasang komponen-komponen pendukung, sehingga alat dapat bekerja dengan baik. Bahan dari mekanik terdiri dari :

1. Besi palt “L”
2. Rantai besi kecil
3. Rem sepeda
4. Pipa kecil
5. Kabel rem
6. Tombol analog stik
7. Mur
8. *Controller* motor BLDC
9. *Sensor rotary encoder*
10. Roda bebas
11. Stir sepeda mini
12. Roda sepeda mini
13. Box plast besar
14. Kotak makan
15. Bahut
16. Motor DC
17. Motor BLDC

Mekanik tersebut terbuat dari besi plat “L” yang dilas untuk sehingga menjadi rangka yang kuat. Dari rangka tersebut aka dipasang bagian-bagian dari mekanik. Gamabr 3.2 menunjuan rancangan dari pembuatan mekanik alat.



Gambar 3.2 Rancangan Pembuatan Mekanik

Dari bahan tersebut digunaka untuk membuat bagian-bgian meknik alat yang terdiri dari sembilan bagian. Untuk bagin-bagian dari mekanik alat yaitu sebagai berikut:

1. Rangka Alat

Perancangan dari rangka alat ini menggunakan besi L kuat dengan ukuran 3,3cm. Dalam penyambungan antara besi L dengan besi L lain atau antara besi L dengan setir sepeda mini yang dijadikan sebagai roda pembelok dilakukan dengan pengelasan pemasangan. Rangka alat ini memiliki panjang rangka alat dari depan kebelakang 84 cm, lebar dari kiri ke kanan 50 cm, dan tinggi 34 cm. Bagian atas rangka alat merupakan tempat untuk pemasangan keranjang beban belanja, dan bagian di bawahnya terdapat tempat peletakan aki dan *controller* motor BLDC dengan ukuran panjang dari depan kebelakang 42 cm, lebar dari kiri ke kanan 13 cm, dan tinggi 13 cm.

2. Motor BLDC dan *Controller* Motor BLDC

Motor BLDC berfungsi sebagai motor pendorong atau penggerak seluruh bagian alat keranjang belanja. Motor BLDC ini merupakan motor yang sering dipasang pada sepeda listrik, yang mana motor menjadi satu dengan roda, dan pada motor ini telah terpasang rem. Motor BLDC yang digunakan adalah motor BLDC dengan tegangan 48 volt, daya 350 Watt, memiliki berat 15 Kg, diameter dari poros ke ban luar 44 cm, Motor BLDC yang digunakan dalam pembuatan alat berjumlah dan dipasang di bagian belakang rangka mekanik alat. Berikutnya *controller* motor BLDC yang mana merupakan satu paket dengan motor BLDC. Kontroler motor ini memerlukan tegangan sumber 48 V untuk dapat beroperasi. *Controller* motor BLDC yang digunakan memiliki tegangan untuk beroperasi sebesar 48 volt dan memiliki arus maksimum 16 A. Kontroler ini dipasang di bagian bawah mekanik alat keranjang, lebih tepatnya dipasang di tempat aki bagian depan di bawah keranjang, bersama dengan aki. Untuk penyambungan kabel-kabel pada *controller* yaitu tiga kabel fasa *controller* bersambung dengan tiga kabel fasa motor sesuai warnanya, yaitu merah, hijau, dan biru. Berikutnya lima kabel sensor *hall controller* bersambung dengan kabel sensor *hall* motor sesuai warnanya, yaitu merah, hijau, biru, hitam, dan putih. Kabel power yaitu warna merah disambung dengan positif 48 volt sumber tegangan, kabel hitam dengan negatif 48 volt

tegangan. Kemudian untuk kabel yang seharusnya tersambung dengan *trotle*, diganti dengan disambung pada rangkaian *switch controller* motor BLDC.

3. Motor Pembelok Roda Depan

Motor DC yang digunakan dalam pembuatan alat ini adalah motor motor DC *stater* 12 volt, yang sering digunakan pada sepeda motor. Motor DC ini memiliki berat 930 grm, dengan arus maksimal 4 A. Motor DC ini berfungsi untuk memutar poros stir sepeda mini yang dijadikan untuk roda pembelok. Motor DC dipasang dengan bahun pada rangka alat, yang berada di bagian depan atas, tepatnya di antara keranjang barang, dan roda pembelok. Sebuah ger kecil dipasang pada poros penggerak motor, berfungsi untuk memutar gir kecil yang dilas pada atas poros sir sepeda mini, dengan menyambung kedua gir dengan rantai kecil.

4. Roda Pembelok

Roda pembelok dalam pembuatan alat ini berfungsi untuk membelokkan alat ke kanan atau ke kiri dengan memutar poros bagian atas, yang mana roda pembelok ini merupakan stir sepeda mini yang stangnya dilepas. Di bagian atas poros sir dipasang gir kecil dengan cara dilas. Di antara ger yang telah dilas pada stir dan gir yang terpasang pada motor DC tersambung dengan rantai kecil. Roda pembelok ini memiliki diameter 23cm, dan ketebalan roda 5cm.

5. Roda Bebas

Roda bebas dalam pembuatan alat ini berfungsi sebagai penyeimbang pergerakan alat, agar tidak roboh ke kiri atau ke kanan karena terletak. Roda bebas ini memiliki diameter 2cm, dan tebal 5cm. Roda ini dipasang di kanan dan kiri bawah sebelah depan rangka mekanik.

6. Pengendali Untuk Pengguna

Pengendali untuk pengguna, merupakan bagian mekanik alat untuk mengendalikan gerakan alat. Mekanik ini terdiri dari beberapa bagian yang melekat pada tongkat pegangan yang memiliki panjang 25 cm, dan diameter 2,2 cm. Bagian mekanik ini terdiri dari tongkat pegangan, rem tangan, tombol analog *stik*, dan rangkaian pengendali untuk pengguna. Untuk rem tangan terpasang di bagian depan tongkat

pegangan, untuk tombol analog *stik* terpasang sebelah kanan tongkat pegangan, dan rangkaian pengendali untuk pengguna terpasang di bagian belakang atas tongkat pegangan. Untuk rem tangan tersambung dengan kabel rem ke bagian rem motor BLDC, sedangkan untuk rangkain pengendali untuk pengguna disambung dengan lima kabel menuju Arduino.

7. Krenjang Barang

Perancangan dari alat menggunakan keranjang plastic dengan ukuran panjang 44 cm, lebar 29 cm, dan tinggi 28 cm. keranjang plastic ini berada di bagian atas rangka mekanik alat, berfungsi untuk tempat barang belanjaan, atau tempat beban berat saat pengambilan data.

8. Box Rangkain Elektronik Alat

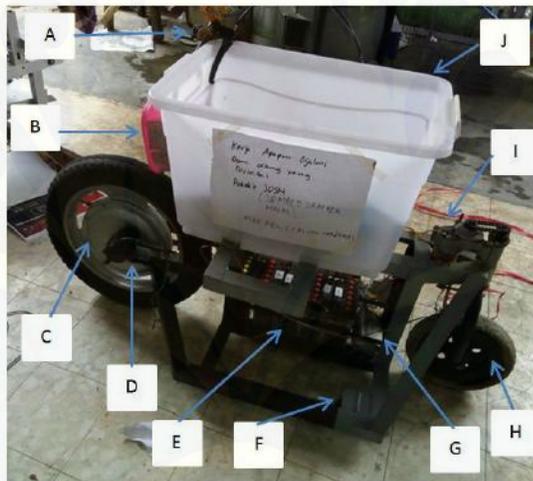
Box rangkain ini berisi beberapa rangkaian elektronika, yaitu rangkaian sensor *rotary encoder*, driver motor DC 12 volt, *switch controller* motor BLDC, dan rangkaian Arduino. *Box* rangkain ini berukuran panjang dan lebar yang sama yaitu 15,5 cm, dan tinggi 5 cm, yang terpasang dibagian belakang keranjang barang. Untuk rangkain driver motor DC 12 volt berada di dasar *box* rangkaian, kemudian di atasnya terdapat rangkaian Arduini, dan untuk rangkain sensor *rotary encoder*, dan rangkaian *switch kontroler* motor BLDC terpasang menempel di sebelah sisi samping dalam *box* rangkaian.

9. Pemasangan sensor *rotay encoder*

Pemasangan sensor ini diletakkan pada rangka alat bagian belakang sebelah kanan, dan dekat dengan poros Motor BLDC. Untuk bagian poros dari sensor disambung dengan roda kecil dengan diameter 2 cm dan, tebal 5 cm, yang permukaan roda kecil tersebut menempel pada *body* moror BLDC yang ikut memutar saat motor dihidupkan. Karena bagian depan roda kecil menempel pada bagian *body* motor BLDC yang telah dilapisi karet ban, dan ikut berputar saat motor dihidupkan, sehingga ketika motor hidup sensor poros sensor ikut berputar dan sensor membaca perubahan pembacaan pulsa pada sensor. Arduini membaca perubahan pusa tersebut melalui kabel outpu sensor kemudian masuk di rangkan sensor, dan

dari output rangkaian sensor ini baru benar bias membaca perubahan pulsa dari sensor

Setelah bagian-bagian dari mekanik telah dibuat maka tahap berikutnya memasang semua bagian menjadi satu sesuai dgn bentuk yang diinginkan pada gambar 3.2. Hasil dari perancangan mekanik memiliki dimensi panjang = 120 cm yang diukur dari roda pembelok hingga motor BLDC, lebar = 50 cm yang diukur dari rangka mekanik alat sebelah bawah sebelah kanan hingga kiri, tinggi = 67 cm yang diukur dari bawah hingga *box* keranjang belanja. Berikut pada gambar 3.3 memperlihatkan bentuk dari mekanik, serta bagian-bagian dari alat tersebut.



Gambar 3.3 Mekanik dan Bagian-bagian dari Alat

Keterangan :

- | | |
|---|----------------------------------|
| A : Pengendali Untuk Pengguna | F : Roda Bebas |
| B : <i>Box</i> Rangkain Elektronik Alat | G : <i>Controller</i> Motor BLDC |
| C : Motor BLDC | H : Roda Pembelok |
| D : Sensor <i>Rotary Encoder</i> | I : Motor Pembelok Roda Depan |
| E : Tempa Aki | J : <i>Box</i> Keranjang |

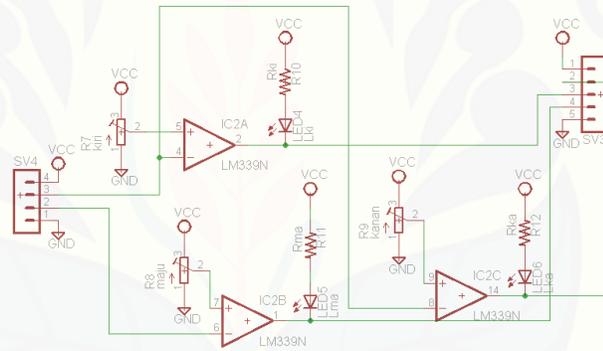
3.6 Perancangan Elektronika

Perancangan pada bagian elektronik robot alat akan dibahas satu persatu setiap komponen yang digunakan dalam pembuatan alat.

1. Rangkaian Pengendali Untuk Pengguna

Rangkaian pengendali untuk pengguna ini berfungsi mengatur penggerak dari roda pembelok pada bagian depan yang digerakkan oleh motor DC 12 volt, dan pengontrol gerak motor BLDC yang menjadi satu dengan roda pendorong. Rangkaian ini memiliki komponen :

1. LM 339
2. Trimpot 20 K Ω
3. Resistor 220 Ω
4. Led ndator



Gambar 3.4 Schematic Rangkaian Pengendali Untuk Pengguna

LM 339 membutuhkan tegangan untuk beroperasi sebesar 3 volt sampai 36 volt untuk dapat operasional.

Tabel 3.1 Datasheet LM 339

Type	Single Supply Operation	Split Supply Operation
LM 339	3,0 V to 36 V	$\pm 1,5$ V to ± 18 V

(Sumber : Datasheet LM 339. http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/LM339-D.PDF)

Sedangkan untuk analisa dari rangkaian pengendali untuk pengguna sebagai berikut :

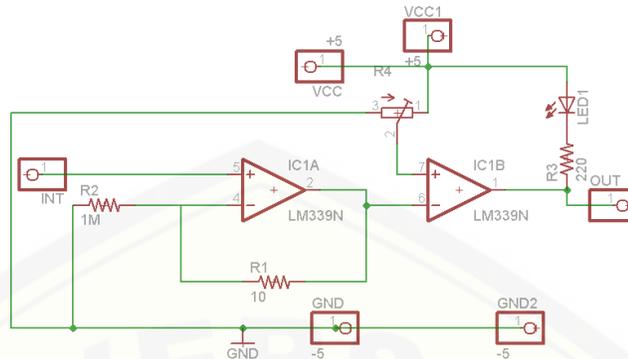
Dari analog stik akan menghasilkan perubahan tegangan biala digeser. Dari perubahan nilai tegangan ini akan masuk pada input *inverting* OP-AMP. OP-AMP membandingkan nilai tegangan stik analong di sisi input *inverting* dengan tegangan referensi pada kaki intut non input *invering* yang telah disetel pada *trimpot*. Jika nilai tegangan pada input *invering* lebih besar dari tegangan input *non inverting* maka output OP-AMP berlogika *low* dengan ditandai led indicator menyala pada kali output OP-AMP. Sama halnya nilai tegangan pada input *invering* lebih kecil dari tegangan input *non inverting* maka output OP-AMP berlogika *high* dengan ditandai led indicator mati pada kali output OP-AMP. Dari output OP-AMP ini akan masuk ke input mikrokontroler Arduino, dengan begitu Arduino menerima input dari pengendali untuk pengguna berupa nilai digital.

3. Rangkaian Sensor *Rotary Encoder*

Rangkaian pengendali untuk pengguna ini berfungsi untuk memudahkan Arduino dalam membaca perubahan nilai tegangan output sensor *rotary encoder*. Karena nilai output tegangan sensor *rotary encoder* terlalu kecil yaitu 0,01 volt ketika kondisi *high* dan 0 volt ketika kondisi *low*, maka Arduino membutuhkan rangkaian PO-AMP untuk memerubah nilai tegangan dari 0,01 volt dan 0 volt menjadi 5 volt pada kondisi *high* dan 0 volt pada kondisi *low*. Dari nilai tegangn output OP-AMP menjadi input Arduino sebagai *fitbag* PID. Rangakain ini terdiri dari beberapa komponen diantaranya :

1. LM 339
2. Trimpot 20 K Ω
3. Resistor 220 Ω
4. Led indikator
5. Resistor 1 M Ω
6. Resistor 10 Ω

sebuah analog *stik*, dua buah OP-AMP (LM339), sebuah trimpot 20 K Ω , sebuah resistor 10 Ω , sebuah resistor 1 M Ω tiga resistor 220 Ω , dan led indikator.



Gambar 3.5 Schematic Rangkaian Sensor *Rotary Encoder*

Sedangkan untuk analisa dari rangkaian pengendali untuk pengguna sebagai berikut :

Dari nilai tegangan output sensor *rotary encoder* masuk ke input *non inverting* PO-AMP pertama. Di dalam OP-AMP pertama ini tegangan sensor *rotary encoder* mengalami pelemahan ketika tegangan output sensor *rotary encoder* bernilai lebih dari 0 volt karena rangkaian OP-AMP perama tersebut, sehingga menghasilkan tegangan output sebesar $-0,07$ volt. Ketika tegangan output sensor *rotary encoder* bernilai 0 volt, tidak terjadi perubahan nilai tegangan pada output OP-AMP pertama, yaitu sebesar 0 volt. Kemudian dari output OP-AMP pertama masuk ke input *inverting* PO-AMP kedua. Pada OP-AMP kedua tegangan output PO-AMP mengalami perbandingan nilai tegangan dengan pada input *non inverting* OP-AMP kedua, yang nilainya disetel sebelumnya dengan trimpot pada rangkaian tersebut. Bila nilai tegangan pada input *inverting* PO-AMP kedua kurang dari 0 volt maka output PO-AMP kedua berlogika *high*, dengan ditandai matinya led indicator. Bila nilai tegangan pada input *inverting* PO-AMP kedua 0 volt maka output PO-AMP kedua berlogika *low*, dengan ditandai menyalnya led indicator. Dari output OP-AMP ini akan masuk ke input Arduino, dengan begitu Arduino menerima input dari sensor *rotary encoder* berupa nilai digital.

4. Rangkaian *Driver* Motor DC 12 volt

Rangkaian *driver* motor DC 12 volt berfungsi sebagai *control* penggerak motor DC 12 volt. Rangkaian ini memiliki beberapa kompone yaitu :

1. *Ouptocpler* FOD817
2. mosfet IRF 540
3. mosfet IRF 9540
4. resistor 22 Ω
5. resistor 15 K Ω
6. Resstor 220 Ω

Mosfet IRF 540 merupakan sebuah mosfet *chenel* n yang mampu mengalirkan arus sebesar 23 A. Untuk mosfet IRF 9540 merupakan mosfet *chenel* p yang merupakan kebalian dari mosfet IRF 540 dan juga memili arus maksimal sebesar 23 A.

Tabel 3.2 *Datasheet* Mosfet IRF 540

Type	V _{DSS}	R _{DS(on)}	I _D
IRF 540	100 V	$\leq 77 \text{ m}\Omega$	23 A

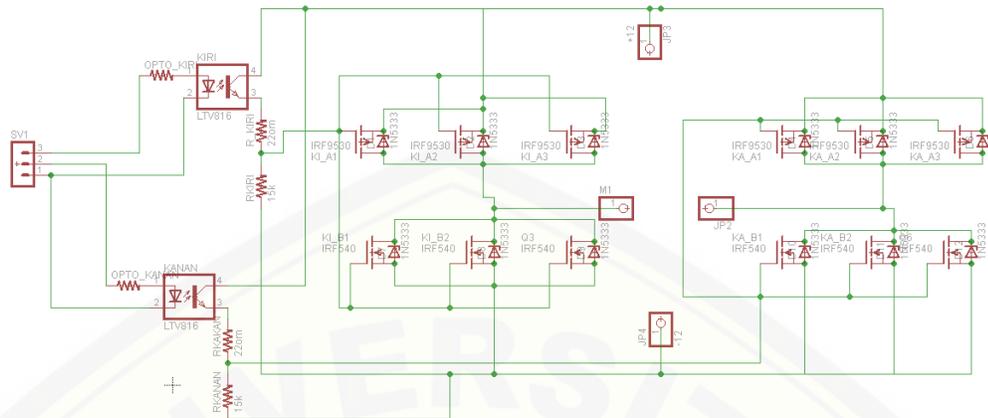
(Sumber : *Datasheet* Mosfet IRF 540. <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/68329/IRF/IRF9540.html>)

Tabel 3.3 *Datasheet* Mosfet IRF 9540

Type	V _{DSS}	R _{DS(on)}	I _D
IRF 9540	100 V	$\leq 0,117 \Omega$	- 23 A

(Sumber : *Datasheet* Mosfet IRF 9540.

http://www.redrok.com/NPN_BD135_45V_1.5A_12.5W_Hfe40_TO-126.pdf)



Gambar 3.6 Schematic Rangkaian Driver Motor DC 12 volt

Untuk analisa dari driver motor DC 12 volt sebagai berikut :

Mosfet IRF 540 tipe n dalam rangkaian ini akan aktif jika dalam kondisi mendapatkan logika *high*, atau sering dikatakan aktif *high*, yang meliputi mosfet Q7, Q8, Q9, Q10, Q11, dan Q12. Mosfet IRF 9540 tipe p dalam rangkaian ini akan aktif jika dalam kondisi mendapatkan logika *low*, atau sering dikatakan aktif *low*, yang meliputi mosfet Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, dan Q6. Ketika mikro kontroler Arduino memberi tegangan kurang lebih 5 volt pada resistor 220 Ω yang menuju optokopler ki maka pototransistor pada optokopler ki aktif mengalirkan arus dari sumber tegangan positif 12 volt menuju resistor 22 Ω , resistor 15 K Ω dan ke tegangan negative 12 volt. Karena sambunga antara resistor 22 Ω , dan resistor 15 K Ω maka tegangan disini bernilai kurang lebih dari tangaan VCC yaitu positif 12V atau dalam kondisi *high*. Karena pada kaki *gate* mosfet chenel p yaitu Q1, Q2, Q3 dalam kondisi *high* maka tiga mosfet tersebut dalam kondisi *off*. Namun kondisi ini berbeda dengan tiga mosfet chenel n yaitu Q7, Q8, Q9 dalam mkondisi *on*, yang mana tiga kaki *gate* mosfet ini disambung parallel dengan mosfet Q1, Q2, Q3 yang berlogika *high*. Jika optokopler ki medapat tegangan 0V dari mikro kontroler Arduino melalui resistor 220 Ω maka kaki *gate* belongika *low* maka mosfet Q1, Q2, Q3 dalam kondisi *on* dan mosfet Q7, Q8, Q9 dalam kondisi *off*. Ini juga terjadi pada optokopler ka bila medapat tegangan dari Arduino sebesar 5 volt maka

tegangan diantara resistor 15 K Ω , dan resistor 22 K Ω yang tersambung dengan optokoler tersebut bernilai setara tegangan VCC yaitu 12V, sehingga *gate* pada *mosfet* chanel p yaitu yaitu Q4, Q5, Q6 dan *mosfet* chanel n yaitu yaitu Q10, Q11, Q12 berlogika *high*. Karen *gate* pada *mosfet* Q4, Q5, Q6 dalam kondisi *off*, begitu sebaliknya *mosfet* Q10, Q11, Q12 dalam kondisi *on* karena *gate* bergabung dengan *gate* *mosfet* Q4, Q5, Q6 yang belogika *high*. Jika optokopler ka medapat tegangan dari Arduino sebesar 0V maka *gate* *mosfet* chanel p Q4, Q5, Q6, dan *gate* *mosfet* chanel n Q10, Q11, Q12 berlogika *low* sehingga *mosfet* Q4, Q5, Q6 dalam kondisi *on* dan *mosfet* Q10, Q11, Q12. Jadi bila optokopler ki aktif dan optokopler ka mati maka motor berputar searah jarum jam. Bila optokopler ki mati dan optokopler ka aktif maka motor berputar bellawanan arah jarum jam. Dan optokopler ki dan optokopler ka sama-sama aktif atau sama-sama hiduatau maka maka motor tidak berputar.

5. Rangkaian *Switch Controller* Motor BLDC

Rangkaian *switch controller* motor BLDC berfungsi sebagai pengganti *trolre* yaitu pengatur kecepatan putaran motor BLDC. Rangkaian ini memmili beberapa kompone yaitu :

1. Resistor 330 Ω ,
2. Resistor 1 K Ω
3. Transistor BD 139

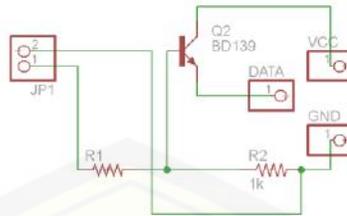
Untuk transistor yang digunakan ialah transistor BD 139 dengan jenis transistor bipolar dengan tipe *NPN* dengan arus *collector* sebesar 1,5 A

Tabel 3.4 *Datasheet* Transistor BD139

Type	I _c	V _{EBO}
BD 139	1,5 A	5 V

(Sumber : *Datasheet* Transistor BD139.

http://www.redrok.com/NPN_BD135_45V_1.5A_12.5W_Hfe40_TO-126.pdf)



Gambar 3.7 Schematic Rangkaian Swtich Controller Motor BLDC

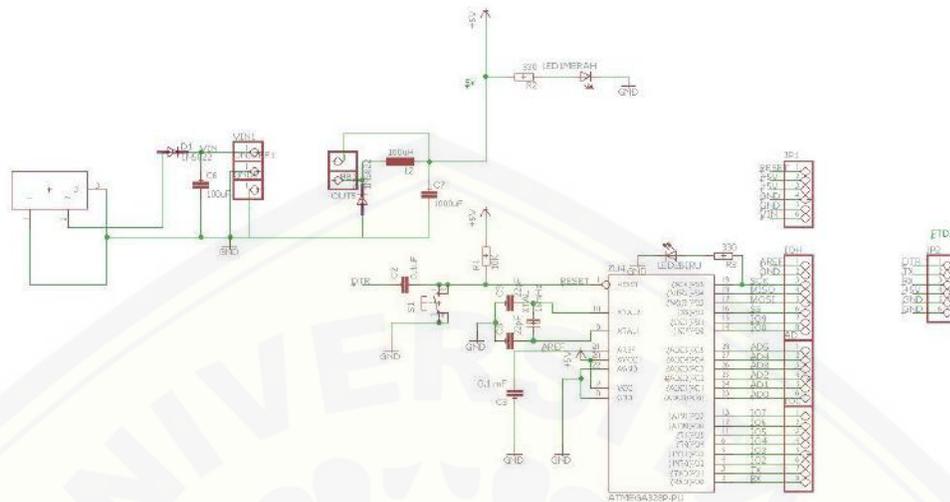
Sedangkan untuk analisa dari rangkaian *swtich kontroler* motor BLDC sebagai berikut :

Untuk kabel *controller* motor BLDC untuk *trotle* ada tiga buah yaitu kabel VCC, data, dan GND. Karena rangakain ini menggantikan fungsi dati *trole*, maka ketiga kabel tadi tersambung dengan rangkaian ini. Penyambungan ketiga kabel itu sebagai berikut kabel VCC tersambung dengan *colektor* transistor, kabel Data tersambung dengan *emitor*, dan kabel GND tersambung dengan GND Arduino, dan resistor 1 K Ω yang ujung kaiki resistor tersebut terhubung dengan *basis* transistor. mikroArينو memberi tegangan berupa pwm ke basis transistor yang melewati reisitor 330 Ω . Dari tegangan pwm ini akan menghasilkan tegangan analog yang berupa pwm di *emitor* transistor, yang kemudian *controller* motor BLDC mengaktifkan motor BLDC sesuai dengan tegangan yang terbaca kabel Data.

6. Rangkaian Arduino

Dalam pembuatan alat ini, menggunakan Arduino *cloning* yang mana terdiri dari beberapa konponene, yaitu sebagai berikut :

1. Lm2576
2. ATmega 328
3. Cristal
4. Kapasitor 22pF
5. Elco 100 μ
6. Elco 1000 μ
7. Elco 100 nF
8. Push button
9. Zener In5822
10. Inductor 100 μ H
11. Resstor 10 K Ω



Gambar 3.8 Rancangan Rangkaian Arduino

Dalam pembuatan alat ini, menggunakan Arduino *cloning* yang mana terdiri dari beberapa komponen, yaitu. Untuk komponen dua buah kapasitor 22pF sebuah *crystal*, berfungsi sebagai pembangkit/ pemompa data yaitu bersifat timer (semacam clock)/pulsa digital. Untuk komponen sebuah resistor 10 K Ω , sebuah push button, dan sebuah elco 100 nF berfungsi sebagai rangkaian reset untuk mikrokontroler. Untuk rangkaian regulator pada mikro menggunakan komponen Lm2576, inductor 100 μ H, zener In5822, elco 100 μ F, dan elco 1000 μ F.

3.7 Perancangan *Supply* Tegangan

Dalam pembuatan alat keranjang belanja ini menggunakan total lima aki yang masing-masing 12 V 5Ah. Lebih tepatnya sebuah aki yaitu, E Aki sebagai *supply* untuk rangkaian driver motor DC 12 volt sehingga dapat memutar motor DC 12 volt, empat aki yaitu A, B, C, dan D Aki yang disusun seri sebagai *supply* tegangan *controller* motor BLDC sekaligus motor BLDC sehingga tegangannya sebesar 48 volt, dan terakhir untuk sumber sensor *rotary* dan Arduini mengambil tegangan 12 volt dari satu aki yaitu A Aki, yang terletak di bagian minus 48 volt *supply* tegangan kontroler motor BLDC sekaligus motor BLDC. Untuk penempatan aki diletakkan

pada tempat aki yang berada di bagian bawah tempat dipasangnya keranjang beban. Lebih tepatnya aki untuk sumber tegangan 12 volt *driver* motor DC 12 volt sekaligus motor DC 12 volt dipasang di bagian belakang tempat aki, untuk *supplay* tegangan *controller* motor BLDC sekaligus motor BLDC sebesar 48 volt dipasang diantatar *supplay* tegangan untuk motor DC 12 volt *controller* motor BLDC yang terdiri dari empat buah aki, dan untuk sumber tegangan 12 volt Arduino sekaligus sensor *rotary encoder* dipasang didepan *supplay* tegangan 12 volt *driver* motor DC 12 volt, yang mana *supplay* tegangan 12 volt untuk Arduino dan sensor tersebut merupakan bagian dari 4 *supplay* tegangan 12 volt dari sumber *controller* motor BLDC dan motor BLDC dengan nilai tegangan 48 volt.

3.8 Perancangan *Software*

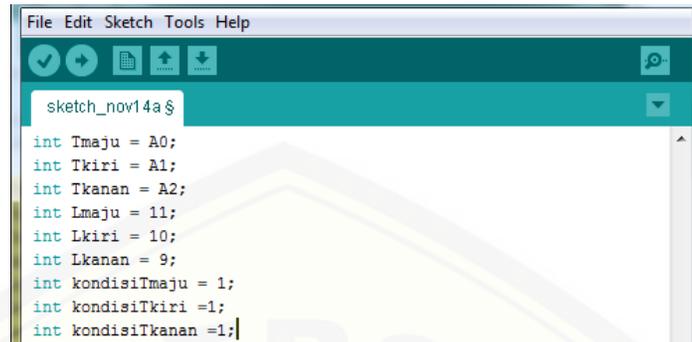
Perancangan *software* pada alat keranjang belanja akan dibagi menjadi dua bagian yaitu inialisai program pada arduino dan pemasangan *pin* data yang digunakan pada arduino pada bagian ini akan dibahas secara satu persatu.

1. Inialisai *Program* Pada Arduino.

Pada bagian inialisasi program pada alat akan dibagi menjadi beberapadua bagian baik intup maupun output yaitu digunakan alat juga *pin* data yang digunakan pada program alat.

1. Input dari Rangkaian Pengendali Untuk Pengguna

Untuk pembacabn input dari rangkaian pengendali untuk pengguna yang digunakan pada alat ini sebanyak tiga buah iput dimana setiap input miliki logika *high*, dan *low*, dan setiap input tersambung dengan satu *pin* data yang kemidian diolah oleh *Arduino*. Berikut *listing* program inialisasi *pin* input rangkaian pengendali untuk pengguna

A screenshot of an IDE window titled 'sketch_nov14a \$'. The window contains the following C++ code:

```
int Tmaju = A0;
int Tkiri = A1;
int Tkanan = A2;
int Lmaju = 11;
int Lkiri = 10;
int Lkanan = 9;
int kondisiTmaju = 1;
int kondisiTkiri =1;
int kondisiTkanan =1;
```

Gambar 3.9 Inisialisasi *Pin* Rangkaian Pengendali Untuk Pengguna

Inisialisai *pin* yang digunakan pada *listing* program tersebut ialah untuk *int Tmaju* pada *pin* A0 dengan kondisi awal *int kondisiTmaju* adalah *high*, untuk *int Tkiri* pada *pin* A1 dengan kondisi awal *int kondisiKiri* adalah *high*, dan untuk *int Tkanan* pada *pin* A2 dengan kondisi awal *int kondisiKanan* adalah *high*.

2. Input dari Rangkaian Sensor *Rotary Encoder*

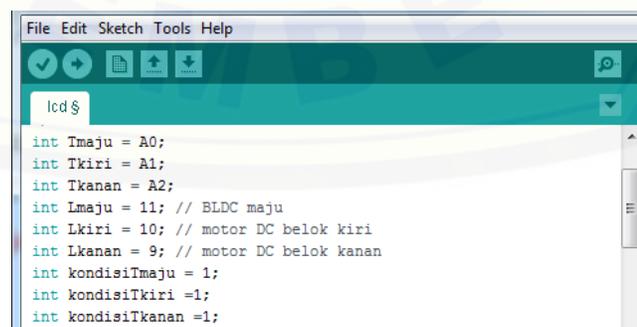
Perlu diketahui untuk penyambungan input sensor dipasang pada *pin* 2. Untuk pembacaan rpm pada input rangkaian sensor *rotary encoder* bisa dilihat pada gambar 3.10

```
Jalan_dg_PID $  
void rpm_fun()  
{  
    rpmcount++;  
}  
  
void setup() {  
    Serial.begin(9600);  
    attachInterrupt(0, rpm_fun, FALLING);  
    rpmcount = 0;  
    rpm = 0;  
    timeold = 0;  
}  
  
void loop() {  
    delay(800);  
    detachInterrupt(0);  
    rpm = 2*1000/(millis() - timeold)*rpmcount;  
    timeold = millis();  
    rpmcount = 0;  
  
    Serial.println(rpm);  
    attachInterrupt(0, rpm_fun, FALLING);  
}
```

Gambar 3.10 Program Pembacaan RPM

3. Output Pergerakan

Pada sistem output pergerakan alat yaitu melakukan inialisasi *pin* data yang akan digunakan untuk data pada rangkaian *driver* motor DC agar dapat berbelok ke kiri atau kanan, dan *switch kontroler* motor BLDC agar dapat bergerak maju, sehingga alat dapat bergerak sesuai keinginan pengguna. Berikut ini *listing* program inialisasi *pin* rangkaian *driver* motor DC, dan rangkaian *switch kontroler* motor BLDC. Berikut *listing* program inialisasi *pin* output dari alat.



```
File Edit Sketch Tools Help  
lcd $  
int Tmaju = A0;  
int Tkiri = A1;  
int Tkanan = A2;  
int Lmaju = 11; // BLDC maju  
int Lkiri = 10; // motor DC belok kiri  
int Lkanan = 9; // motor DC belok kanan  
int kondisiTmaju = 1;  
int kondisiTkiri =1;  
int kondisiTkanan =1;
```

Gambar 3.11 Inialisasi *Pin* Output Pergerakan Alat

Inisialisai *pin* yang digunakan pada *listing* tersebut yaitu pada rangkaian *driver* motor DC untuk *int Lkiri* belok kiri pada *pin* 10, dan untuk *int Lkanan* belok kanan *pin* 9, dan pada rangkaian *switch kontroler* motor BLDC untuk *int Lmaju* pada *pin* 11.

4. PID

Pada kontrol PID diperlukan inisialisasi untuk perhitungan *Sp*, *MAXPWM*, *MINPWM*, *error*, *PV*, *P*, *I*, *D*, *MV*, *rate_d*, *rate_i*, *last_error*, *PWM*, dan insalsasi nilai *Ki* sebsar 5, *Kp* sesar 2, dan *Kd* sebesar 1. Berikut ini *listing* program inisialisai untuk komponen dari kontrol PID.

```
Jalan_dg_PID
#define pwmmax 20
#define pwmmmin 16

int Sp, MAXPWM, MINPWM, error, PV, P, I, D, MV, rate_d, rate_i, last_error, PWM;
int Kp = 5;
int Ki = 2;
int Kd = 1;
```

Gambar 3.12 Inisialisasi Program PID

Untuk nilai *pwmmax* diberi nilai 20, dan nilai *pwmmmin* 16.

2. Pemasangan *Pin* Data Pada Arduino.

Pada bagian ini yaitu pemasangan *pin* data pada alat, berikut ini akan menjelaskan *pin – pin* yang digunakan pada Arduino secara keseluruhan pada alat. Pada tabel 3.3 merupakan *pin – pin* yang sudah digunakan pada Arduino berikut ini penjelasan dari masing –masing pemasangan dari *pin* tersebut.

Tabel 3.5 Penggunaan *Pin* Pada Arduino

<i>Pin</i>	Penggunaan
A0	Intut perintah maju
A1	Intut perintah belok kiri
A2	Intut perintah belok kanan
2	Input sensor
11	Triger motor BLDC maju atau jalan
10	Triger motor DC belok kiri
9	Triger motor DC belok kanan

1. Input dari Rangkaian Pengendali Untuk Pengguna

Input rangkaian pengendali untuk pengguna yang digunakan pada alat ini ada tiga input dan setiap input memiliki satu *pin* data untuk diolah oleh *microcontroller*. Untuk pemasangan input rangkaian pengendali untuk pengguna pada *mikrokontroler Arduino* yang pertama adalah memberi sumber daya pada rangkaian pengendali untuk pengguna yaitu menghubungkan *header VCC* dengan sumber tegangan 5 volt Arduino dan menghubungkan *header GND* dengan sumber tegangan *GND* Arduino. Untuk berikutnya menyambungkan *header* input pada *pin* data, yaitu menyambung *header* output rangkaian untuk perintah maju pada *pin* A0, menyambung *header* output rangkaian untuk perintah belok kanan pada *pin* A1, dan menyambung *header* output rangkaian untuk perintah belok kiri pada *pin* A2.

2. Input dari Rangkaian Sesor *Rotary Encoder*

Input rangkaian sesor *rotary encoder* yang digunakan pada alat ini memiliki satu dan tersambung satu *pin* data untuk diolah oleh Arduino. Untuk pemasangan input rangkaian sesor *rotary encoder* pada Arduino yang pertama adalah memberi sumber daya pada rangkaian sesor *rotary encoder* yaitu

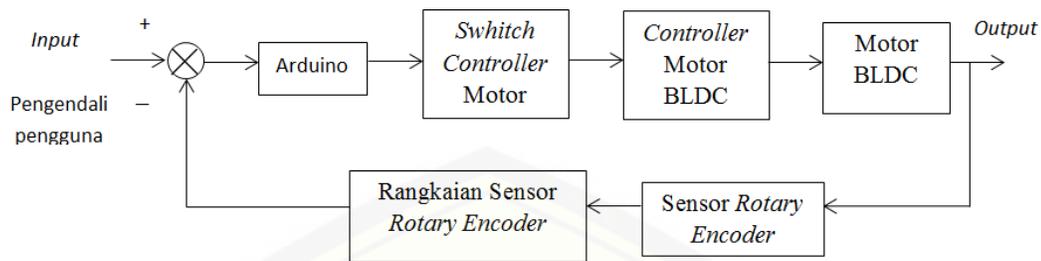
menghubungkan *header VCC* dengan sumber tegangan 5 volt Arduino dan menghubungkan *header GND* dengan sumber tegangan *GND* Arduino. Untuk berikutnya menyambungkan *header output* rangkaiannya pada *pin 2* pada Arduino.

3. Output untuk Pergerakan Alat

Untuk output alat ini memiliki dua output yaitu rangkaian driver motor DC 12 volt yang memiliki dua *pin data*, dan rangkaian *switch kontroler* motor BLDC yang memiliki satu *pin data*. Untuk *pin* data dari kedua rangkaian untuk output alat tersebut memerlukan logika high atau low untuk pergerakan alat sesuai dari perintah Arduino. Untuk pemasangan rangkaian driver motor DC 12 volt yaitu dihubungkan triger kiri pada *pin 10* dan triger kanan pada *pin 9* Arduino. Untuk pemasangan rangkaian *switch kontroler* motor BLDC yaitu dihubungkan *switch kontroler* motor BLDC triger kiri pada *pin 11* Arduino.

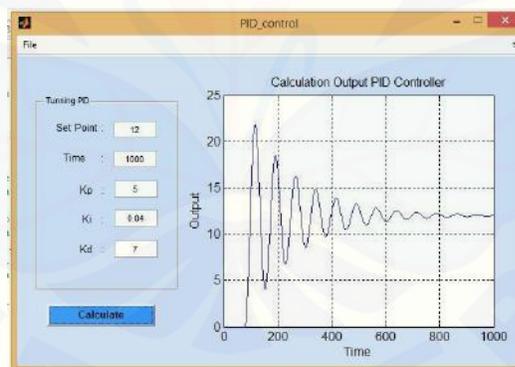
3.9 Perancangan Sistem *Tuning* PID

Konsep dari *tuning* PID pada alat adalah mempertahankan kecepatan putaran motor BLDC agar tidak berubah saat diberi beban belanja yang nilainya berbeda-beda. Membuat kecepatan putaran motor BLDC konstan dengan menambah bila nilai kecepatan di bawah *setpoint* atau mengurangi kecepatan di atas *setpoint* dengan menggunakan perhitungan PID. Sensor kecepatan berfungsi untuk membaca kecepatan putar motor yang digunakan sebagai umpan balik. Berikut merupakan blok sistem dari *controller tuning* PID pada robot alat.



Gambar 3.13 Blok Aplikasi *Controller* PID Pada Keranjang Belanja Menggunakan Motor BLDC

Software menggunakan *matlab* R2012b yang dibuat untuk melihat hasil grafik respon dari nilai masukan – masukan *controller* PID *tuning* antara lain yaitu berupa *set point*, *time*, nilai K_p , nilai K_i dan nilai K_d . Di dalam *software* ini hanya untuk menampilkan data hasil perhitungan manual yang diperoleh dari masing – masing masukan pemberian nilai K_p , K_i dan K_d serta dikeluarkan dalam bentuk grafik pada gambar 3.14.



Gambar 3.14 Tampilan Grafik *Tuning* PID *Control* Menggunakan Matlab R2012b

Fungsi dari nilai K_p , K_i dan K_d yaitu untuk mengetahui seberapa besar perubahan dari grafik *output* PID *controller* dari *set poin* yang telah ditentukan yang selanjutnya digunakan untuk dijadikan parameter *tuning* pada alat. Pada perancangan grafik respon *controller* PID hanya menerima data yang telah dihitung sebelumnya yang kemudian ditampilkan dalam bentuk *visual* pada gambar 3.11.

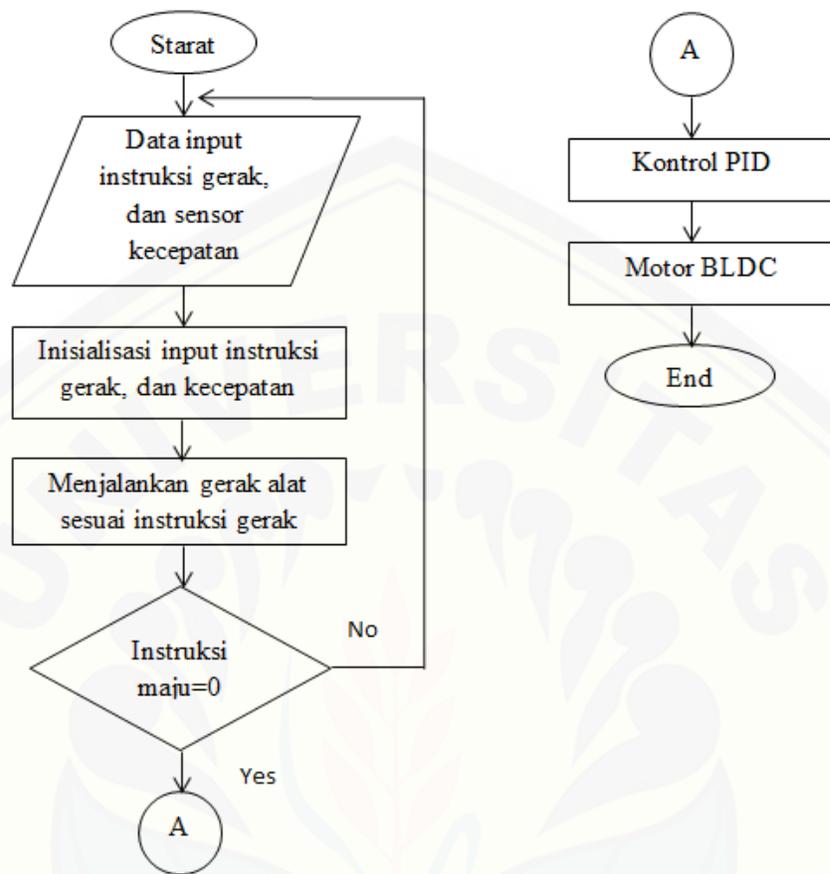
Berikut ini terminologi tentang definisi dalam PID antara lain sebagai berikut :

1. *Error* : merupakan perbedaan nilai rpm target dengan nilai rpm pembacaan sensor.
2. *Propotional* : untuk mengetahui berapa besar error dari sistem dengan menggunakan sensor, semakin besar error maka semakin besar pula perubahan pada keluaran.
3. *Integral* : untuk mengakumulasi *error* terhadap waktu, nilai *integral* ini bisa naik ketika rpm tidak sesuai dengan *setpoint*, semakin lama rpm tidak sesuai dengan *setpoint* maka nilai *integralnya* juga semakin tinggi.
4. *Derevative* : mengukur seberapa sering rpm tidak sesuai dengan *setpoint*.
5. Faktor P- K_p : merupakan konstanta yang digunakan untuk memperbesar dan memperkecil pengaruh dari *propotional*.
6. Faktor I- K_i : merupakan konstanta yang digunakan untuk memperbesar dan memperkecil pengaruh *integral*.
7. Faktor D- k_d : merupakan konstanta yang digunakan untuk memperbesar dan memperkecil pengaruh dari *derevative*.

Dari terminologi diatas kita dapat mengetahui maksud dari penggunaan masing – masing *controller* PID mulai dari *controller* P, *controller* I dan *controller* D serta efek dari masing – masing penggunaan konstanta dari K_p , K_i , dan K_d .

3.10 Flowchart Sistik Kerja

Sistik kerja alat secara keseluruhan dimulai dari pengambilan data input instruksi gerak pada rangkaian pengendali untuk pengguna. Kemudian diteruskan dengan inisialisasi gerak, maka alat menjalankan gerak pergeakan alat sesuai dengan instruksi gerak yang diinginkan pengguna. Arah gerak alat ada tiga yaitu maju, maju belok kiri, dan maju belok kanan.



Gambar 3.15 *Flowchart* Sistim Kerja Alat

Setelah perintah pergerakan alat sesuai dengan instruksi gerak, berikutnya dilakukan pengambilan keputusan. Jika instruksi maju tidak samadengan 0 maka proses diulang dari kembali dari inisialisasi instruksi gerak. Jika instruksi maju samadengan 0 maka kan dilanjutkan keproses berikutnya. Proses berikutnya adalah menjalankan kontrol PID pada alat. Selanjutnya adalah menjalan motor BLDC, dan selasai.

BAB 5 PENUTUT

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Alat akan mulai bekerja ketika tombol analog darahan maju, kiri atau kanan. Kemudian mikro mendeteksi rpm sensor dari putaran motor BLDC, dan mengendalikan putaran motor BLDC sesuai dengan rpm yang terbaca.
2. Dari pengujian kecepatan alat didapatkan error terbesar 8,68% yaitu ketika tidak diberi beban. Error persen ter kecil adalah 0% yaitu ketika alat tidak diberi beban. Dari data tersebut dapat diketahui kerja alat masih ada kekurangan, karena masih ada perubahan kecepatan dengan di beri perubahan beban.
3. Untuk pengujian arus pada aki didapatkan nilai terendah 0,8 Ampere ketika tidak diberi beban, dan nilai tertinggi ketika arus 1,59 Ampere yaitu pada beban 36Kg. Nilai arus akan bertambah seiring dengan bertambahnya beban belanja yang diangkat alat. Hal tersebut ini bisa diamati pada table 4.3 dan gambar grafik 4.2.
4. Untuk mengatur pergerakan alat dengan menggerakkan tombol analog stik ke depan untuk maju, ke kanan untuk maju belok kanan, dan ke kiri untuk maju belok kiri.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan penulis memberikan saran berikut untuk penyempurnaan karya ilmiah ini dan lebih memberikan manfaat yang lebih baik di masa mendatang :

1. Diperhatikan dalam pemasangan sensor dengan *body* motor, supaya dalam setiap kali putaran motor BLDC, sensor dapat membaca putaran dari motor BLDC.
2. Disarankan untuk penelitian selanjutnya menggunakan tidak hanya metode PID untuk mengatur kecepatan putaran motor BDC.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif. Sensor. 2008. <http://mochafif.blogspot.co.id/>. [Diakses pada 11 November 2016]
- Azzumar, Muhammad. 2012. *“Pemodelan dan Simulasi Brushless DC Mmtor Kecil Untu Aplikasi Atuaror Sirip Roet”*. Depok: Universitas Indonesia.
- Castle, Alex. 2013. Know Your Arduino: A Practical Guide to The Most Common. <http://www.tested.com/tech/robots/456466-know-your-arduino-guide-most-common-boards/> [Diakses pada 11 November 2016]
- Charles. 2013. Transistor dan Cara kerjanya. <http://zarles.blogspot.co.id /2013/01/transistor-dan-cara-kerjanya.html>. [Diakses pada 2 November 2016]
- Datasheet* LM 339. http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/LM339-D.PDF. [Diakses pada 2 Agustus 2016]
- Datasheet* Mosfet IRF 540. <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/68329/IRF/IRF9540.html>. [Diakses pada 31 Agustus 2016]
- Datasheet* Mosfet IRF 9540. http://www.redrok.com/NPN_BD135_45V_1.5A_12.5W_Hfe40_TO-126.pdf. [Diakses pada 9 Maret 2016]
- Datasheet* Transistor BD139. http://www.redrok.com/NPN_BD135_45V_1.5A_12.5W_Hfe40_TO-126.pdf. [Diakses pada 15 Agustus 2016]
- Dharmawan, Abe. 2010. *“Pengendalian Motor Bushless DC dengan Metode PWM Simusoidal menggunakan Atmega 16”*. Depok: Universitas Indonesia.
- Didit. 2012. *“Pembuatan Power Amplifire 200Watt”*. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Hakim, R. D. L. & Mujiono, M. T. *“Implementasi Perhitungan Posisi Robot dengan FPGA Menggunakan Rotary Encoder”*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hamdi, R, & Taufiq, N. N. *“Perancangan Sistem Kendali Gerak Pada Platform Robot Pengnagkut”*. Bandung: Unikom.
- Haryanto, Toni. 2016. Analog Output pada Arduino Menggunakan PWM (Pulse Width Modulation. <https://www.codepolitan.com/tutorial/analog-output-arduino-menggunakan-pwm-pulse-width-modulation>. [Diakses pada 17 November 2016]

- Haryanto, Wawan. 2012. Simbol-Simbol Elektronika. <http://wawanhar.blogspot.co.id/2012/03/simbol-simbol-elektronika.html>. [Diakses pada 9 November 2016]
- Husaini, Nur Achmad. 2015. Prinsip Kerja Motor Brushless DC (BLDC Motor). <http://www.insinyoer.com/prinsip-kerja-motor-brushless-dc-blDC-motor/2/>. [Diakses pada 26 November 2016]
- Pengertian Fungsi dan Kegunaan Arduino. <https://id.wikipedia.org/wiki/Arduino>. [Diakses pada 9 Desember 2016]
- PID. <https://id.wikipedia.org/wiki/PID>. [Diakses pada 12 Juni 2015]
- Prasetyo, Brilian. 2015. Kontroler BLDC 350W Sensorless. <http://www.bogipower.com/2015/09/kontroler-blDC-sensorless.html>. [Diakses pada 1 Desember 2016]
- Prayogo, Rudito. 2012. *“Pengaturan PWM (Pulse Width Modulation) dengan PLC”*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Pratama, Ganda Brian 2012. Membuat Rangkaian Sensor Kecepatan. <http://www.fabrian.web.id/2012/01/membuat-rangkaian-sensor-kecepatan.html>. [Diakses pada 27 November 2016]
- Prinandika, E. B. *“Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Pada Robot Line Follower Berbeban Menggunakan Kontroler PID”*.
- Putraekapermana. 2013. PID (Proportional-Integral-Derivative) Controller. <https://putraekapermana.wordpress.com/2013/11/21/pid/>. [Diakses pada 8 November 2016]
- Purnama, Agus. 2012 Teori Motor DC dan Jenis-jenis Motor DC. <http://elektronika-dasar.web.id/teori-motor-dc-dan-jenis-jenis-motor-dc/>. [Diakses pada 12 November 2016]
- Romli. 2015. Apa itu MOSFET?. <http://www.romli.net/2015/02/apa-itu-mosfet.html>. [Diakses pada 9 November 2016]
- Ryan. 2010. Transistor jenis NPN dan jenis PNP. <http://ryanserodja.blogspot.co.id/2010/06/transistor-jenis-npn-dan-jenis-pnp.html>. [Diakses pada 5 November 2016]
- Sitorus, P. Binsar. 2011. Konverter Analog ke Digital. http://brightsiteofmylife.blogspot.co.id/2011_01_01_archive.html. [Diakses pada 26 November 2016]

Thole. 2012. Prinsip Kerja Motor DC. <http://teorick.blogspot.co.id/2012/10/prinsip-kerja-motor-dc.html#>. [Diakses pada 29 November 2016]

Toruan, Henry. 2009. Transistor. <http://henry-toruan.blogspot.co.id/2009/12/transistor-fet.html>. [Diakses pada 9 November 2016]

Utomo, S. T. & Sunyoto, A. 2015. *“Perancangan dan Implementasi Raspberry PI Ssebagai Pengontrol ON/OFF Lampu Melalui WEB Interface”*



LAMPIRAN

A. Listing program pada aplikasi

Listing program pada aplikasi “Pengendalian Kecepatan Motor BLDC Pada Keranjang Pembawa Barang Belanja dengan Metode Kontrol PID” adalah sebagai berikut :

```
#define pwmmax 20
#define pwmmin 16

int Tmaju = A0;
int Tkiri = A1;
int Tkanan = A2;
int Lmaju = 11; // BLDC maju
int Lkiri = 10; // motor DC belok kiri
int Lkanan = 9; // motor DC belok kanan
int kondisiTmaju = 1;
int kondisiTkiri =1;
int kondisiTkanan =1;

volatile byte rpmcount;
unsigned int rpm;
unsigned long timeold;

int Sp,MAXPWM,MINPWM,error,PV,P,I,D,MV,rate_d,rate_i,last_error,PWM;
int Kp = 5;
```

```
int Ki = 2;

int Kd = 1;

void rpm_fun()
{
    rpmcount++;
}

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    attachInterrupt(0, rpm_fun, FALLING);
    rpmcount = 0;
    rpm = 0;
    timeold = 0;
    pinMode(Lmaju, OUTPUT);
    pinMode(Lkiri, OUTPUT);
    pinMode(Lkanan, OUTPUT);
    pinMode(Tmaju, INPUT);
    pinMode(Tkiri, INPUT);
    pinMode(Tkanan, INPUT);
}

void loop() {
    delay(800);
    detachInterrupt(0);
    rpm = 2*1000/(millis() - timeold)*rpmcount;
    timeold = millis();
}
```

```
rpmcount = 0;
```

```
Serial.println(rpm);
```

```
attachInterrupt(0, rpm_fun, FALLING);
```

```
kondisiTmaju=digitalRead(Tmaju);
```

```
kondisiTkiri=digitalRead(Tkiri);
```

```
kondisiTkanan=digitalRead(Tkanan);
```

```
if(rpm>10&&rpm<50) {PV=0;} else
```

```
if(rpm>50&&rpm<100) {PV=1;} else
```

```
if(rpm>100&&rpm<150) {PV=2;} else
```

```
if(rpm>150&&rpm<200) {PV=3;} else
```

```
if(rpm>250&&rpm<300) {PV=4;} else
```

```
if(rpm>350&&rpm<400) {PV=5;} else
```

```
if(rpm>450&&rpm<500) {PV=6;} else
```

```
if(rpm>550&&rpm<600) {PV=7;} else
```

```
if(rpm>650&&rpm<700) {PV=8;}
```

```
Sp = 0;
```

```
MAXPWM = pwmmax;
```

```
MINPWM = pwmmin;
```

```
error = Sp - PV;
P = Kp * error;
rate_d = error - last_error;
D = rate_d * Kd;
rate_i = error + last_error;
I = rate_i * Ki;
last_error = error;
MV = P + I + D;

if(MV == 0){ PWM = MAXPWM;
}else
if(MV > 0){ PWM = MAXPWM - MV;
if(PWM < MINPWM) PWM = MINPWM;
if(PWM > MAXPWM) PWM = MAXPWM;
}else
if (MV < 0){ PWM = MAXPWM + MV;
if (PWM < MINPWM) PWM = MINPWM;
if (PWM > MAXPWM) PWM = MAXPWM;
}

if (kondisiTmaju ==LOW && kondisiTkiri ==HIGH && kondisiTkanan
==HIGH)
{
analogWrite(Lmaju, PWM);
digitalWrite(Lkiri, LOW);
```

```
digitalWrite(Lkanan, LOW);  
}  
  
else if (kondisiTmaju ==HIGH && kondisiTkiri ==LOW && kondisiTkanan  
==HIGH)  
{  
    analogWrite(Lmaju, PWM);  
    analogWrite(Lkiri, 150);  
    digitalWrite(Lkanan, LOW);  
}  
  
else if (kondisiTmaju ==HIGH && kondisiTkiri ==HIGH && kondisiTkanan  
==LOW)  
{  
    analogWrite(Lmaju, PWM);  
    digitalWrite(Lkiri, LOW);  
    analogWrite(Lkanan, 130);  
}  
  
else  
{  
    digitalWrite(Lmaju, LOW);  
    digitalWrite(Lkiri, LOW);  
    digitalWrite(Lkanan, LOW);  
}  
}
```

B. Gambar Pengujian Data



Gambar B.1 Pengambilan data Waktu Tempuh, Tegangan Aki dan Arus Aki



Gambar B.2 Pengukuran Tegangan dan Arus Aki