

RANCANG BANGUN TACHOMETER MENGGUNAKAN
GENERATOR DC DENGAN TAMPAILAN DIGITAL

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



AGUS SETIYONO

NIM. 125060300111001

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2016

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN TACHOMETER MENGGUNAKAN GENERATOR DC DENGAN TAMPILAN DIGITAL

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

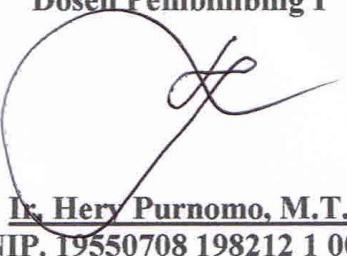
Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



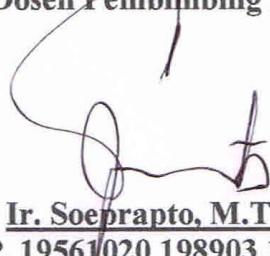
AGUS SETIYONO
NIM. 125060300111001

- * Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada tanggal 22 Agustus 2016

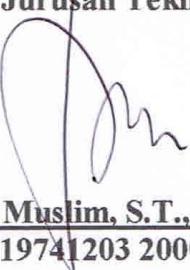
Dosen Pembimbing I


Ir. Hery Purnomo, M.T.
NIP. 19550708 198212 1 001

Dosen Pembimbing II


Ir. Soeprapto, M.T.
NIP. 19561020 198903 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro


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

JUDUL SKRIPSI:

RANCANG BANGUN TACHOMETER MENGGUNAKAN GENERATOR
DC DENGAN TAMPILAN DIGITAL

Nama Mahasiswa : Agus Setiyono

NIM : 125060300111001

Program Studi : Teknik Elektro

Konsentrasi : Teknik Energi Elektrik

KOMISI PEMBIMBING :

Ketua : Ir. Hery Purnomo, M.T.



Anggota : Ir. Soeprapto, M.T.

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji I : Ir. Mahfudz Shidiq, M.T.



Dosen Penguji II : Ir. Unggul Wibawa, M.Sc.

Dosen Penguji III : Ir. Teguh Utomo, M.T.

Tanggal Ujian : 15 Agustus 2016

SK Penguji : 1004/UN10.6/SK/2016



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

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

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

Malang, 15 Agustus 2016

Mahasiswa



Agus Setiyono

NIM. 125060300111001



RINGKASAN

Agus Setiyono, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Agustus 2016. **Rancang Bangun Tachometer Menggunakan Generator DC dengan Tampilan Digital**. Dosen Pembimbing : Ir. Hery Purnomo, M.T. dan Ir. Soeprapto, M.T.

Tachometer merupakan alat ukur kecepatan putaran yang digunakan dalam Laboratorium Mesin Elektrik. Tachometer analog yang kurang efisien dan tachogenerator yang menggunakan magnet permanent perlu ada pembaharuan untuk menunjang praktikum yang lebih efisien dan tepat. Tachometer menggunakan generator DC merupakan alternatif untuk menggantikan keberadaan tachometer yang ada. Tachometer dengan tampilan digital lebih efisien digunakan dari segi waktu karena hasil kecepatan langsung ditampilkan dalam LCD. Untuk membuat tachometer menggunakan generator DC dengan tampilan digital diperlukan generator DC dan kontrol unit sebagai rangkaian elektronik untuk menampilkan hasil kecepatan dalam LCD. Dalam kontrol unit terdapat rangkaian catu daya sebagai sumber daya arduino dan sumber arus medan, rangkaian sensor tegangan untuk membaca tegangan keluaran generator DC dan dibaca pada arduino, LCD sebagai tampilan hasil pembacaan arduino yang ditampilkan dalam RPM.

Dari hasil pengujian, generator DC penguat terpisah lebih cocok digunakan dibandingkan dengan generator *shunt* karena resistansi medannya lebih besar dari resistansi kritis generator. Generator DC yang digunakan memiliki resistansi medan (R_f) sebesar 36,07 ohm dan konstanta mesin sebesar 0,0215. Sensor tegangan yang digunakan memiliki kesalahan rata-rata sebesar 0,7%. Dari pengujian mikrokontroller memiliki kesalahan pembacaan sebesar 0,69%. Konversi tegangan keluaran generator DC menjadi kecepatan dengan menggunakan rumus tegangan keluaran generator terdapat kesalahan rata-rata sebesar 7,18% sedangkan konversi menggunakan regresi linier terdapat kesalahan rata-rata sebesar 2,13%. Akibat adanya kopel tachogenerator terhadap motor penggeraknya terdapat perbedaan terhadap kecepatan motor tanpa dikopel dengan rata-rata kesalahan sebesar 1,61%. Pengujian tachometer secara keseluruhan didapatkan hasil dengan kesalahan terbesar yaitu 6,75%, kesalahan terkecil yaitu sebesar 0,23% serta kesalahan rata-rata sebesar 2,41%.

Kata kunci : tachometer, kecepatan, generator DC, *Liquid Crystal Display (LCD)*

SUMMARY

Agus Setiyono, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya. August 2016. **Design of Tachometer DC Generators Using the Digital Display**. Academic Supervisor : Ir. Hery Purnomo, M.T. and Ir. Soeprapto, M.T.

Tachometer is a rotational speed measuring devices used in Electrical Machine Laboratory. Analog tachometer is less efficient and a tachogenerator that use permanent magnet should be no renewal to support the lab research more efficient and precise. Tachometer using DC generator is an alternative in order to replace the existing tachometer. Tachometer with digital display is more efficient to use in terms of time as the result of outright speed displayed in the LCD. To make use of a DC generator tachometer with a digital display required DC generator and control unit as a circuit to show the speed in the LCD. In the control unit there is a power supply circuit as a power source for arduino and generator field , a voltage sensor circuit for reading the output voltage generator for arduino input, LCD as display readings arduino output in RPM.

From the test results, separately exited DC generator is more suitable than the shunt generator because the field resistance is greater than the critical resistance generator. DC generator used to have field resistance (R_f) of 36.07 ohm and constant machinery amounted to 0.0215. A voltage sensor that is used has an average error of 0.7%. Testing of the microcontroller has a reading error of 0.69%. DC generator output voltage conversion into speed by using the formula has an error generator output voltage by an average of 7,18%, while the conversion using linear regression there is an average error of 2,13%. As a result of their coupling to the driving motor tachogenerator there are differences in the speed of the motor without coupled with an average error of 1.61%. Testing the overall tachometer showed the highest error that is 6,75%, the smallest error in the amount of 0.23% and an average error of 2,41%.

Keywords: tachometer, speed, DC generator, Liquid Crystal Display (LCD)



PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT dengan rahmat dan hidayah-Nya skripsi berjudul “Rancang Bangun Tachometer Menggunakan Generator DC dengan Tampilan Digital” dapat terselesaikan. Dalam kesempatan ini diucapkan terima kasih kepada yang telah berkenan memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung kepada:

1. Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
2. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc. dan Bapak Ali Mustofa S.T., M.T. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Energi Elektrik dan Ketua Program Studi Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Ir. Hery Purnomo, M.T. dan Bapak Ir. Soeprapto, M.T. selaku dosen pembimbing skripsi atas segala bimbingan, kritik, dan saran yang telah diberikan.
4. Bapak Akhmad Zainuri, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik, beserta seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro yang selalu membantu selama perkuliahan terutama Bapak Indra Setyawan, S.ST yang banyak membantu selama pengerjaan skripsi ini.
5. Keluarga tercinta Ayahanda Suwono dan Ibunda Dasih Rahayu yang selalu memberikan kasih sayang dan do’anya yang tiada akhir, serta kakak tercinta Mas Joko Juliswanto dan adik tercinta Novansa Tri Ramadhani atas segala macam dukungan yang telah diberikan.
6. Seluruh Asisten Laboratorium Mesin Elektrik yang telah turut andil memberikan waktu, tenaga, pikiran, kebersamaan, semangat, dan saling mendukung dalam pengerjaan skripsi.
7. Seluruh teman-teman angkatan 2012 (Voltage), terutama teman-teman konsentrasi Teknik Energi Elektrik (Power 2012) yang telah berbagi suka dan duka dalam perkuliahan dan memberikan semangat dalam proses pengerjaan skripsi ini.
8. Seluruh teman-teman BK atas bantuan, motivasi, kerjasama, dan kebersamaan dalam proses pengerjaan skripsi.
9. Semua pihak yang telah membantu dan tidak bisa disebutkan satu persatu, terimakasih banyak atas semua bantuannya.



Disadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun dan diharapkan agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bagi masyarakat.

Malang, Agustus 2016

Penulis

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Mesin Arus Searah (Mesin DC).....	5
2.2 Generator DC	7
2.2.1 Generator Penguat Terpisah	8
2.2.2 Generator DC <i>Shunt</i>	10
2.3 Mikrokontroler Arduino Uno.....	12
2.4 LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>)	15
2.5 AC – DC <i>converter</i>	16
2.5.1 Penyearah gelombang penuh 1 fasa tak terkontrol.....	17
2.6 Sensor Tegangan.....	18
2.7 Regresi Linier	19
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1 Peralatan Penelitian.....	21
3.2 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	21
3.2 Diagram Alir Penelitian	22
3.4 Pengujian Parameter Mesin DC	24

3.4.1 Parameter Kumparan Medan	24
3.4.2 Nilai Konstanta K pada Mesin	24
3.5 Perancangan Alat Tachometer	24
3.5.1 Rangkaian Catu Daya	25
3.5.2 Perancangan Tachogenerator	25
3.5.3 Perancangan Perangkat Lunak	26
3.6 Pembuatan Alat	27
3.7 Pengujian Alat	27
3.7.1 Pengujian Rangkaian Catu Daya	27
3.7.2 Pengujian Generator DC	28
3.7.3 Pengujian Sensor Tegangan	28
3.7.4 Pengujian Mikrokontroller	28
3.7.5 Pengujian Sistem	28
3.8 Kesimpulan dan Saran	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Pengujian Parameter Mesin DC	30
4.1.1 Pengujian Resistansi Medan (R_f)	30
4.1.2 Pengujian Konstanta (K)	31
4.2 Perancangan Alat	32
4.2.1 Perancangan Catu Daya	32
4.2.2 Perancangan Rangkaian Mikrokontroller	33
4.2.3 Perancangan Sensor Tegangan	34
4.3 Pengujian Alat	35
4.3.1 Pengujian Rangkaian Catu Daya	35
4.3.2 Pengujian Generator DC	37
4.3.3 Pengujian Sensor Tegangan	44
4.3.4 Pengujian Mikrokontroller	45
4.3.5 Pengujian Sistem Keseluruhan	47
BAB V PENUTUP	51
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN	56



UNIVERSITAS BRAWIJAYA





UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Konstruksi Mesin DC	5
Gambar 2. 2 Hubungan mesin DC	6
Gambar 2. 3 Karakteristik volt-ampere generator DC	7
Gambar 2. 4 Rangkaian Ekivalen Generator DC Penguat Terpisah.....	8
Gambar 2. 5 Karakteristik tegangan jangkar generator penguat terpisah.....	9
Gambar 2. 6 Karakteristik tegangan jangkar pada putaran berbeda.....	9
Gambar 2. 7 Rangkaian Ekivalen Generator DC <i>Shunt</i>	10
Gambar 2. 8 Perilaku pembentukan tegangan pada generator DC <i>Shunt</i>	11
Gambar 2. 9 Efek dari resistansi medan	11
Gambar 2. 10 Arduino UNO	13
Gambar 2. 11 Rangkaian LCD dengan Arduino Uno	15
Gambar 2. 12 Jembatan Penyearah Gelombang penuh. (a) <i>Circuit diagram</i> . (b) Rangkaian Pengganti. (c) Gelombang Arus dan Tegangan.	17
Gambar 2. 13 Rangkaian sederhana pembagi tegangan	18
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian	23
Gambar 3. 2 Rangkaian untuk mencari nilai R_f	24
Gambar 3. 3 Rangkaian pengujian nilai konstanta (K)	24
Gambar 3. 4 Blok diagram tachometer menggunakan generator DC.....	25
Gambar 3. 5 Ilustrasi rancangan tachogenerator	25
Gambar 3. 6 Ilustrasi rancangan kontrol unit	26
Gambar 3. 7 Diagram alir program arduino	27
Gambar 4. 1 Rangkaian catu daya 12V	32
Gambar 4. 2 Rangkaian catu daya 5V	32
Gambar 4. 3 Rangkaian Mikrokontroller	33
Gambar 4. 4 Rangkaian sensor tegangan	35
Gambar 4. 5 Rangkaian pengujian catu daya	35
Gambar 4. 6 Gelombang keluaran trafo 220/12 V	36
Gambar 4. 7 Gelombang keluaran rangkaian catu daya 12V	36



Gambar 4. 8 Gelombang keluaran rangkaian catu daya 5V	36
Gambar 4. 9 Rangkaian pengujian generator DC	37
Gambar 4. 10 Hasil pengujian resistansi kritis generator.....	38
Gambar 4. 11 Grafik hasil pengujian generator DC <i>shunt</i>	39
Gambar 4. 12 Grafik Hasil pengujian generator DC penguat terpisah	40
Gambar 4. 13 Hasil Konversi	43
Gambar 4. 14 Rangkaian pengujian sensor tegangan	44
Gambar 4. 15 Grafik hasil pengujian sensor tegangan.....	45
Gambar 4. 16 Rangkaian pengujian mikrokontroller.....	46
Gambar 4. 17 Grafik hasil pengujian program mikrokontroller	47
Gambar 4. 18 Grafik pengaruh kopel terhadap motor penggerak	48
Gambar 4. 19 Grafik hasil pengujian sistem keseluruhan.....	50



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Arduino UNO.....	14
Tabel 2. 2 Pin LCD dan port arduino uno	16
Tabel 4. 1 Hasil pengujian resistansi medan	31
Tabel 4. 2 Hasil pengujian nilai konstanta	32
Tabel 4. 3 Hasil pengujian resistansi kritis generator DC	38
Tabel 4. 4 Hasil pengujian generator DC <i>shunt</i>	39
Tabel 4. 5 Hasil pengujian generator DC penguat terpisah.....	40
Tabel 4. 6 Hasil konversi dengan rumus tegangan keluaran generator	41
Tabel 4. 7 Hasil konversi dengan regresi linier	42
Tabel 4. 8 Hasil pengujian sensor tegangan	44
Tabel 4. 9 Hasil pengujian program mikrokontroller	46
Tabel 4. 10 Pengaruh kopel terhadap motor penggerak	48
Tabel 4. 11 Hasil pengujian sistem keseluruhan	49



DAFTAR LAMPIRAN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 1. Listing program arduino.....	56
Lampiran 2. Data sheet.....	58
Lampiran 3. Dokumentasi	63



UNIVERSITAS BRAWIJAYA





UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tachometer adalah alat ukur kecepatan rotasi poros atau *disk*, seperti pada motor atau mesin lainnya. Perangkat tachometer biasanya menampilkan putaran per menit (RPM). Biasanya tachometer banyak menggunakan dial analog, tetapi sekarang semakin umum ditampilkan dalam bentuk digital.

Dalam dunia pendidikan khususnya pada jenjang perguruan tinggi, mahasiswa tidak hanya dituntut baik dalam kognitif saja, tetapi juga pada praktek. Laboratorium adalah tempat riset ilmiah, eksperimen, pengukuran dan pelatihan ilmiah. Laboratorium merupakan tempat untuk membuktikan kebenaran teori yang dipelajari selama perkuliahan. Laboratorium Mesin Elektrik Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya merupakan salah satu laboratorium yang bergerak di dalam dunia mesin listrik.

Pada Laboratorium Mesin Elektrik terdapat dua praktikum yaitu praktikum konversi energi elektrik dan mesin elektrik. Pada umumnya praktikum pada Laboratorium Mesin Elektrik membahas mengenai mesin listrik baik motor maupun generator. Praktikum tersebut sangat membutuhkan tachometer untuk mengetahui putaran mesin listrik tersebut. Tachometer yang tersedia saat ini pada Laboratorium Mesin Elektrik yaitu tachometer analog dan tachogenerator yang menggunakan magnet permanent pada statornya.

Permasalahan yang ada saat ini adalah masalah efisiensi yang kurang dalam segi waktu. Saat menggunakan tachometer analog setiap terjadi perubahan putaran dari motor maupun generator harus selalu diukur. Tachogenerator yang ada menggunakan magnet permanent juga memiliki kekurangan dalam segi efisiensi karena output yang dihasilkan berupa tegangan belum dikonversi dalam bentuk rotasi per menit (RPM) sehingga harus konversi secara manual dari tegangan menjadi putaran. Selain itu generator magnet permanent yang digunakan juga memiliki kelemahan yaitu magnet permanent akan mengalami kelelahan, untuk kasus ini tachogenerator sering dikalibrasi dan juga peka terhadap debu dan korosi.

Generator DC merupakan generator yang medan magnetnya didapat dengan penguatan bebas atau sumber luar dan penguatan sendiri yang berasal dari tegangan output generator itu sendiri.

Berdasarkan beberapa uraian diatas penulis disini akan membuat tachometer menggunakan generator DC dengan tampilan ¹ tal. Tachometer ini hasil putarannya akan

langsung ditampilkan dalam *Liquid Crystal Display* (LCD). Tujuan akhir yang diharapkan dalam penelitian ini adalah merencanakan dan merealisasikan alat yang mampu untuk menunjang kelancaran praktikum di Laboratorium Mesin Elektrik.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas dapat dijadikan acuan untuk membuat beberapa rumusan masalah berikut:

1. Apa jenis generator DC yang cocok digunakan untuk tachometer.
2. Bagaimana tegangan keluaran generator DC akibat pengaruh kecepatan putaran motor penggerak.
3. Berapa persen kesalahan konversi menggunakan rumus tegangan keluaran generator dan regresi linier.
4. Berapa persen kesalahan tachometer menggunakan generator DC dengan tampilan digital terhadap tachometer analog.

1.3 Batasan Masalah

Penyusunan penelitian ini menggunakan batasan masalah sebagai berikut:

1. Mikrokontroller yang digunakan adalah Arduino Uno.
2. Perancangan tachometer ini digunakan untuk praktikum pada Laboratorium Mesin Elektrik dan digunakan untuk mesin-mesin dinamometer yang terdapat pada laboratorium Mesin Elektrik.
3. Sistem alat ini merupakan loop terbuka, dimana tegangan keluaran generator dikonversi menjadi kecepatan dan ditampilkan secara *realtime* melalui LCD dengan kecepatan terbesar yaitu 3000 RPM.
4. Pengujian untuk penggerak generator menggunakan motor DC penguat terpisah.
5. Rugi-rugi seperti rugi angin dan rugi gesekan pada generator DC diabaikan.
6. Hanya membahas generator DC penguat terpisah dan generator DC *shunt*.
7. Tidak membahas perancangan mesin.

1.4 Tujuan

Tujuan akhir yang diharapkan pada penelitian ini adalah merancang dan merealisasikan alat yang mampu mengukur kecepatan yang bisa ditampilkan langsung setiap



perubahan kecepatan dan mampu menunjang kelancaran praktikum di Laboratorium Mesin Elektrik.

1.5 Manfaat

Terdapat beberapa manfaat dari penelitian ini yaitu bagi penulis dan laboratorium. Manfaat bagi penulis adalah memberikan pengalaman bagi penulis untuk menerapkan pengetahuan tentang mesin elektrik dan menyelesaikan studi pada Jurusan Teknik Elektro. Manfaat bagi laboratorium adalah sebagai alat penunjang kebutuhan praktikum Konversi Energi Elektrik dan praktikum Mesin Elektrik yang diadakan di Laboratorium Mesin Elektrik.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini disusun dengan urutan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang tinjauan pustaka yang digunakan untuk dasar penelitian yang akan dilakukan dan untuk mendukung perancangan dan pembuatan tachometer menggunakan generator DC, teori yang digunakan untuk membuat alat meliputi mesin DC, generator DC, mikrokontroller dan penyearah.

BAB III METODE PENELITIAN

Berisi metodologi dan perancangan penelitian. Tahapan penyelesaian penelitian meliputi: studi literatur, perancangan dan pengujian, pengambilan data, dan analisis data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi pembuatan alat, pengujian dan analisis performansi dari hasil perancangan alat dan pengambilan data kemudian dianalisis sesuai dengan keadaan sebenarnya.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dari perancangan dan pembuatan alat dan saran untuk penelitian selanjutnya.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



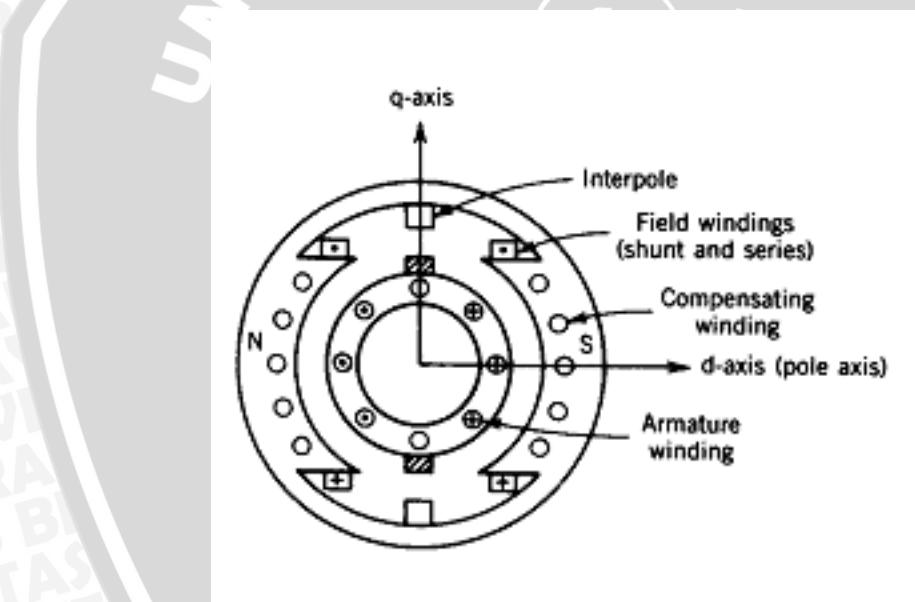
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mesin Arus Searah (Mesin DC)

Mesin DC (*Direct Current*) merupakan salah satu jenis mesin listrik, dimana mesin ini digunakan untuk mengubah energi listrik arus searah menjadi energi mekanik, atau sebaliknya. Ada dua macam mesin DC, yakni Motor DC dan Generator DC. Pada pengoperasiannya, motor DC dapat mengubah energi listrik arus searah menjadi energi mekanik, sedangkan generator DC mengubah energi mekanik menjadi energi listrik arus searah.

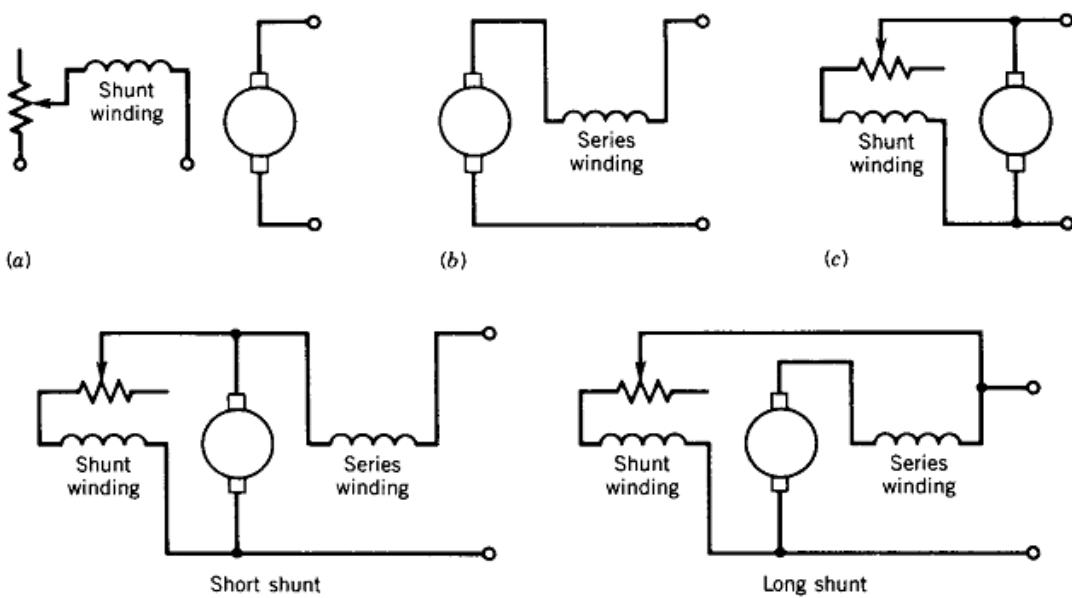
Dalam mesin DC, kumparan jangkar diletakkan pada rotor dan kumparan medan pada stator. Fitur dari 2 kutub motor DC ditunjukkan pada gambar 2.1. Stator mesin ini mempunyai kutub menonjol dan dieksitasi oleh satu atau lebih lilitan medan.



Gambar 2. 1 Konstruksi Mesin DC

Sumber: Sen (1997:129)

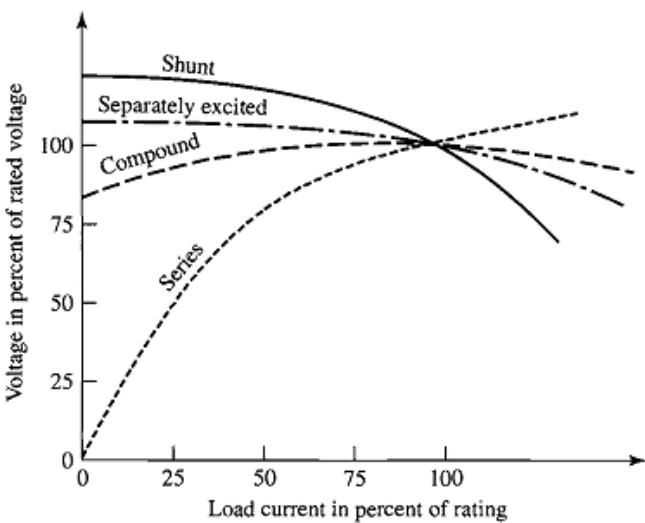
Mesin DC adalah mesin serbaguna dan banyak digunakan dalam industri. Banyaknya variasi dari karakteristik tegangan-arus atau torsi-kecepatan dapat diperoleh dari variasi hubungan dari kumparan medannya (Sen, 1997:128). Bermacam-macam hubungan medan mesin dc diperlihatkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Hubungan mesin DC

Sumber: Sen (1997:145)

Setiap metode koneksi medan, menghasilkan karakteristik volt-ampere yang berbeda untuk setiap mesin dc yang dioperasikan sebagai generator, maupun karakteristik putaran torsi untuk setiap mesin dc yang dioperasikan sebagai motor. Pada generator DC *shunt* dan seri tidak membutuhkan sumber lain untuk membangkitkan medan atau dengan kata lain eksitasi sendiri. Bila kita melihat pada Gambar 2.3, terdapat perbedaan yang sangat besar untuk karakteristik generator penguat terpisah, dc *shunt*, dan seri. Tegangan generator dc seri sangat tergantung oleh arus beban, sehingga jika dibandingkan dengan generator DC *shunt* pengaruh arus beban lebih kecil jika dibanding dengan generator DC seri. Sehingga generator DC *shunt* dan generator penguat terpisah bisa dijadikan alternatif yang bisa digunakan untuk tachometer.



Gambar 2. 3 Karakteristik volt-ampere generator DC
Sumber: Fitzgerald (2003:362)

2.2 Generator DC

Prinsip kerja dari suatu generator arus searah (DC) adalah berdasarkan hukum Induksi Faraday yaitu apabila suatu konduktor digerakkan dan memotong garis-garis gaya magnetik (fluksi), maka konduktor tersebut akan timbul suatu gaya gerak listrik. Jadi pada dasarnya adalah harus ada konduktor, harus ada medan magnet dan harus ada gerak atau perputaran dari konduktor di medan magnet (Soemarwanto, 2010:65).

Berdasarkan hukum Induksi Faraday besarnya g.g.l. yang diinduksikan untuk satu belitan adalah

$$e = -\frac{d\phi}{dt} \times 10^{-8} \text{ Volt } (\phi \text{ dalam Maxwell}) \quad (2- 1)$$

Apabila kecepatan putaran adalah n putaran/menit. Maka untuk 1 putaran adalah $60/n$ detik, konduktor akan memotong $P \times \phi$ Maxwell sehingga:

$$e_{rata-rata} = \frac{p.n.\phi}{60} \times 10^{-8} \text{ Volt} \quad (2- 2)$$

Karena ada $\frac{z}{a}$ konduktor pada setiap cabang jangkar parallel, maka :

$$E = \frac{p}{a} \cdot \frac{n}{60} \cdot z \cdot \phi \cdot 10^{-8} \text{ Volt} \quad (2- 3)$$

Dimana: p = jumlah kutub

a = jumlah cabang jangkar parallel

n = jumlah putaran (putaran/menit)

z = jumlah konduktor di jangkar



\emptyset = fluksi tiap kutub (Maxwell)

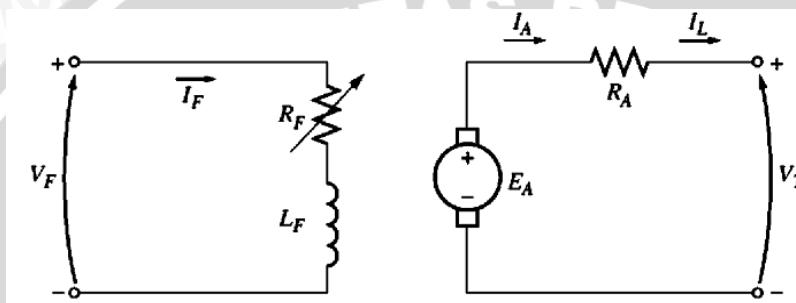
Karena didalam generator arus searah besar p, a dan z adalah konstan maka

$$\frac{p}{a} \cdot \frac{1}{60} \cdot z \cdot 10^{-8} = K \text{ (konstan)} \quad (2- 4)$$

$$E = K \cdot n \cdot \emptyset \text{ Volt} \quad (2- 5)$$

2.2.1 Generator Penguinat Terpisah

Generator DC penguinat terpisah adalah generator yang arus medannya disuplai oleh sumber DC dari luar. Rangkaian ekivalen dari generator penguinat terpisah ditunjukkan pada gambar 2.4. Dalam rangkaian tersebut V_T merupakan tegangan keluaran generator dan I_L adalah arus yang mengalir ke terminal generator saat adanya beban.



Gambar 2. 4 Rangkaian Ekivalen Generator DC Penguinat Terpisah

Sumber : Chapman(2005: 597)

Berdasarkan hukum Kirchhoff, tegangan terminal generator adalah

$$V_T = E_A - I_A R_A \quad (2- 6)$$

2.2.1.1. Kontrol Tegangan Generator Penguinat Terpisah

Tegangan terminal generator DC penguinat terpisah dapat dikontrol dengan mengubah tegangan jangkar (E_A) dari generator. Berdasarkan hukum Kirchoff pada persamaan 2-6, jika tegangan jangkar (E_A) naik, tegangan terminal generator (V_T) juga akan naik begitu juga sebaliknya. Karena tegangan jangkar (E_A) generator adalah (Chapman, 2005:597)

$$E_A = K \emptyset n \quad (2- 7)$$

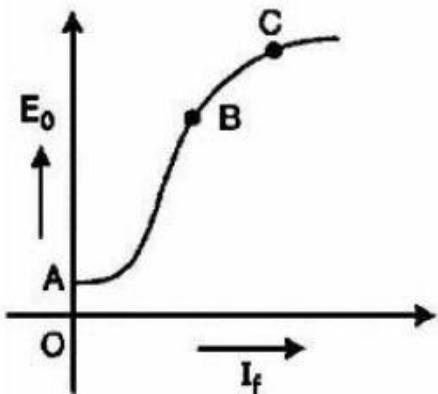
Maka ada dua cara untuk mengontrol tegangan terminal generator penguinat terpisah yaitu:

1. Mengubah kecepatan rotasi
2. Mengubah arus medan generator, ketika arus medan naik maka fluksi (\emptyset) juga akan naik.



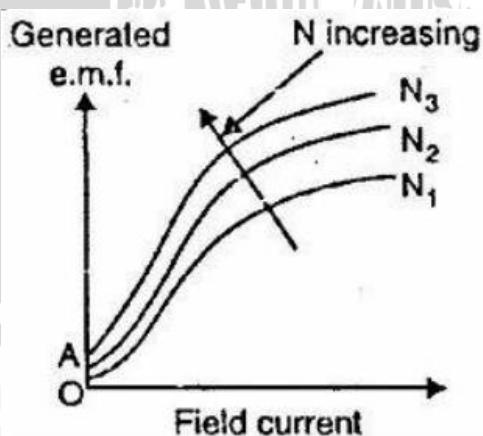
2.2.1.2. Karakteristik Generator Penguat Terpisah

Pada kurva karakteristik tanpa beban pada gambar 2.5, memperlihatkan hubungan antara tegangan jangkar (E_A) dan arus medan (I_f) pada kecepatan konstan. Kurva tersebut juga dikenal sebagai kurva magnetisasi.



Gambar 2. 5 Karakteristik tegangan jangkar generator penguat terpisah
Sumber: Mehta (2002:55)

Ketika arus medan adalah nol, ada beberapa emf yang dihasilkan OA. Hal tersebut disebabkan oleh sisa magnet dalam kutub medan. Pada rentang yang cukup lebar (hingga ke titik B dalam kurva), kurva linear. Hal ini karena dalam kisaran ini, reluktansi besi dapat diabaikan dibandingkan dengan celah udara. Reluktansi celah udara konstan oleh karena itu linear. Setelah titik B pada kurva, karena pada kepadatan fluks tinggi, reluktansi pada besi mengalami penurunan dan reluktansi besi tidak lagi diabaikan. Akibatnya, kurva menyimpang dari hubungan linear. Setelah titik C pada kurva, kejemuhan magnetik kutub dimulai dan E_A cenderung mendatar.

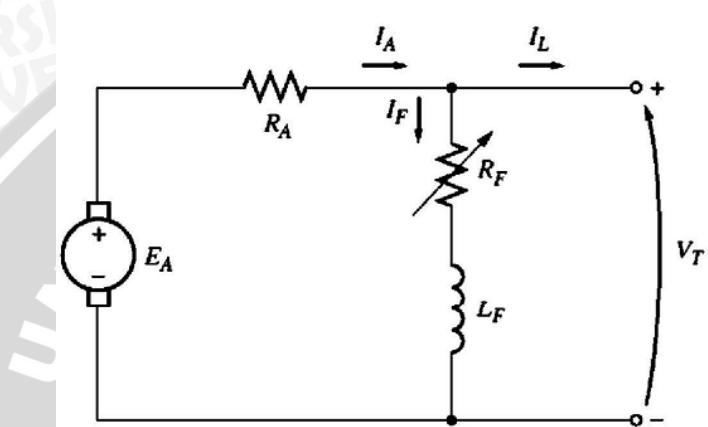


Gambar 2. 6 Karakteristik tegangan jangkar pada putaran berbeda
Sumber: Mehta (2002:56)

2.2.2 Generator DC Shunt

Generator DC *shunt* adalah generator DC yang menyuplai arus medannya sendiri dengan menghubungkan kumparan medan langsung dengan terminal dari mesin tersebut. Tipe dari generator DC *shunt* memiliki keuntungan nyata daripada DC penguat terpisah yaitu tanpa adanya sumber luar untuk penguatan medan. Rangkaian ekivalen generator DC *shunt* dapat dilihat pada gambar 2.7. Dalam rangkaian tersebut, arus jangkar dari mesin adalah sama dengan besarnya arus medan dan arus beban dari mesin (Chapman, 2005:602)

$$I_A = I_F + I_L \quad (2- 8)$$



Gambar 2. 7 Rangkaian Ekivalen Generator DC *Shunt*
Sumber : Chapman(2005: 603)

2.2.2.1 Proses Menghasilkan Tegangan Generator DC *Shunt*

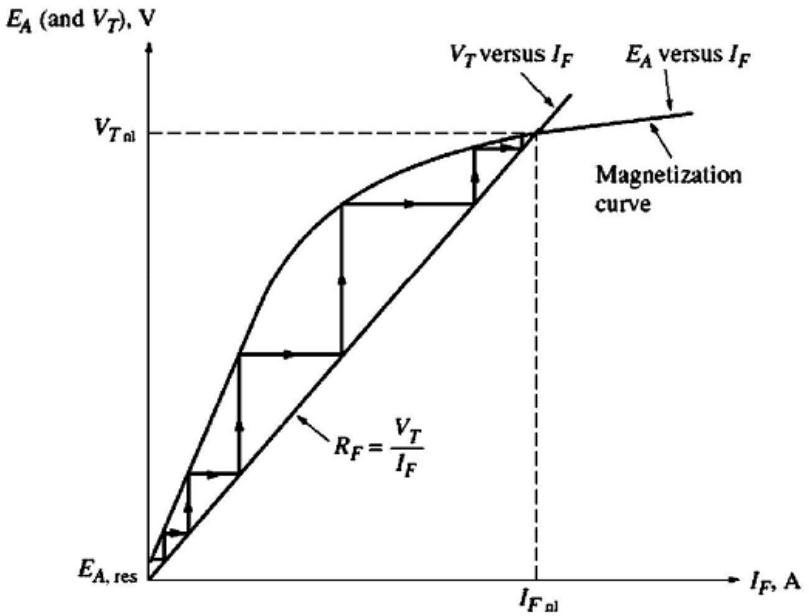
Menghasilkan tegangan dalam generator DC *shunt* mengandalkan *flux residual* atau yang disebut remanensi magnet dalam kutub generator. Ketika generator pertama berputar, tegangan internal akan dihasilkan yang mana ditunjukkan oleh persamaan 2.9

$$E_A = K\emptyset_{res}n \quad (2- 9)$$

Tegangan tersebut terlihat pada terminal generator. Tetapi ketika tegangan terlihat pada terminal, hal tersebut menyebabkan arus mengalir ke kumparan medan. Arus medan menghasilkan *magnetomotive force (mmf)* pada kutubnya, mengakibatkan kenaikan *flux* mesin tersebut. Kenaikan *flux* akan mengakibatkan kenaikan pada E_A , dimana akan mengakibatkan kenaikan tegangan terminal (V_T). Ketika V_T naik, I_F akan naik lebih banyak lagi, membuat kenaikan *flux* lebih banyak, dimana akan menaikkan nilai E_A dan seterusnya.

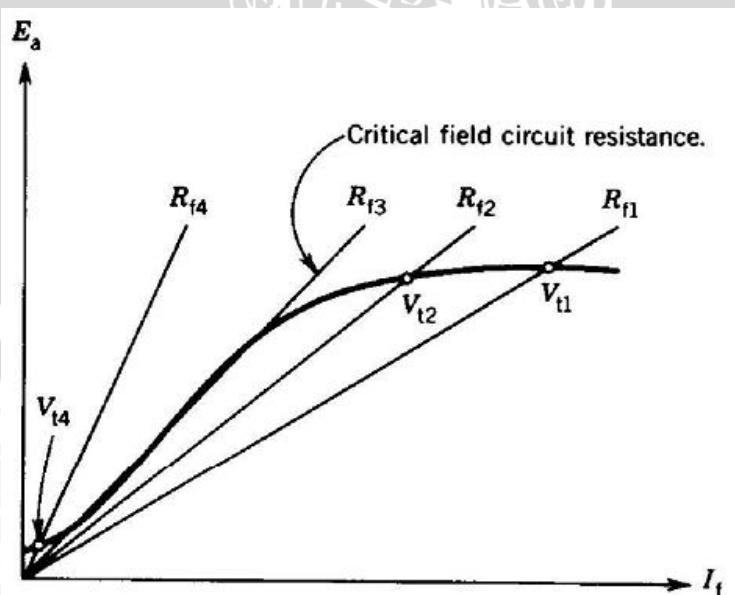
Perilaku kenaikan tegangan pada generator DC shunt dapat dilihat pada gambar 2.8. Pembentukan itu merupakan efek dari kejemuhan magnet pada kutub dimana nantinya akan membatasi tegangan keluaran dari generator (Chapman, 2005:603).





Gambar 2. 8 Perilaku pembentukan tegangan pada generator DC *Shunt*
Sumber : Chapman (2005: 604)

Gambar 2.8 menunjukkan pembentukan tegangan yang lebih dulu terjadi dalam step diskrit. Step-step tersebut tergambar untuk memperjelas *feedback* antara tegangan internal generator dan arus medannya. Dalam generator kenyataannya, tegangan tidak terbentuk dalam diskrit step, melainkan keduanya antara E_A dan I_F akan naik secara bersamaan hingga tercapai kondisi *steady-state*.



Gambar 2. 9 Efek dari resistansi medan
Sumber : Sen (1997: 154)

Pada gambar 2.9 menunjukkan pembentukan tegangan pada generator DC eksitasi sendiri untuk variasi resistansi medan. Pada nilai resistansi R_{f3} , garis resistansi hampir serupa dengan garis kurva magnetisasi. Kondisi tersebut mengakibatkan hasil tegangan yang tidak stabil. Resistansi tersebut dikenal sebagai *critical field circuit resistance*. Jika resistansi lebih besar daripada nilai tersebut, seperti R_{f4} , pembentukan V_{t4} tidak signifikan. Jika resistansi lebih kecil dari nilai tersebut, seperti R_{f1} atau R_{f2} , generator akan mengeluarkan tegangan. Tiga kondisi untuk memenuhi pembentukan tegangan pada generator DC penguat sendiri adalah (Sen, 1997:154)

1. Sisa magnet harus menjadi sistem magnet
2. Kumparan medan mmf harus ada sisa magnet
3. Resistansi medan harus kurang dari resistansi kritis medan

2.2.2.2 Kontrol Tegangan Generator DC *Shunt*

Ada 2 cara untuk mengontrol tegangan dari generator DC *shunt* yaitu:

1. Perubahan kecepatan pada poros generator
2. Perubahan resistor medan pada generator, hingga menyebakan perubahan arus medan

Perubahan resistor medan adalah metode untuk *control* terminal tegangan pada generator shunt sesungguhnya. Jika medan resistor turun, maka arus medan akan naik

$$I_F = V_T/R_F \quad (2-10)$$

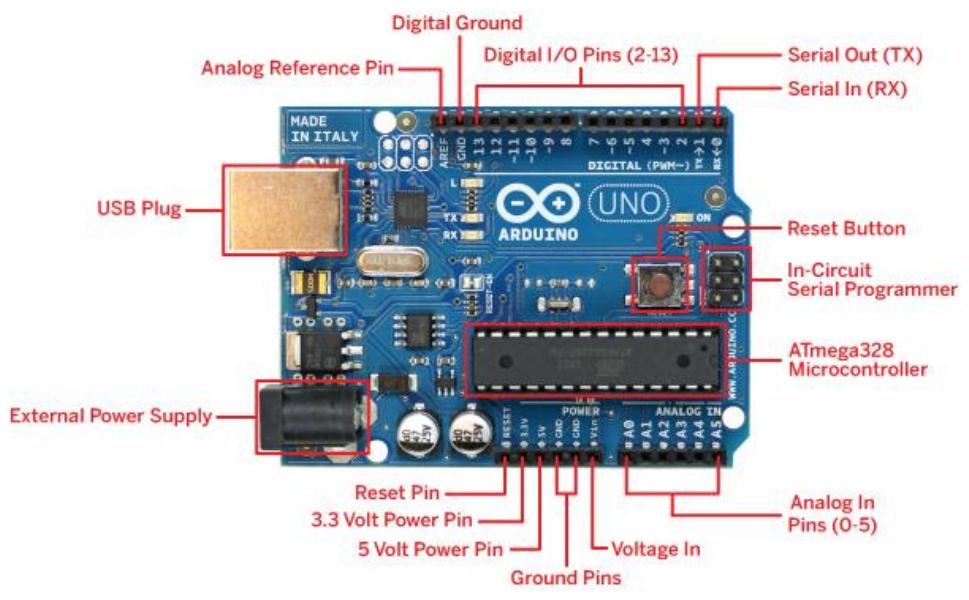
Ketika I_F naik, menyebabkan kenaikan fluksi pada mesin dan menyebabkan kenaikan tegangan internal. Kenaikan tegangan internal juga akan menyebabkan kenaikan tegangan terminal generator (Chapman, 2005:606).

2.3 Mikrokontroler Arduino Uno

Arduino adalah sebuah project *open-source developing tools* berupa mikrokontroller yang dirancang oleh sebuah tim yang dimotori oleh Massimo Banzi dari Italia. Arduino memiliki bahasa pemrograman yang didasarkan atas *board Wiring* yang begitu mudah dipahami dan sederhana sehingga setiap orang bisa menggunakan Arduino. Kekuatan Arduino terletak pada basis komunitas karena sifat Arduino adalah *open-source*, sehingga begitu banyak orang yang mengupload project mereka dengan Arduino di forum-forum yang membahas tentang Arduino di internet. Jenis Arduino yang tersedia begitu beragam, antara lain Arduino Uno, Arduino Mega, Arduino Mini, Arduino Lilypad, Arduino Leonardo, dll. Jenis yang paling umum digunakan di kalangan praktisi adalah Arduino Uno seperti yang

ditunjukkan pada Gambar 2.10. Komponen utama dari Arduino ini adalah Mikrokontroller ATmega 328 yang berfungsi sebagai “otak” dari Arduino.

Arduino atau Genuino adalah papan mikrokontroler yang menggunakan IC ATmega328P yang mempunyai 14 digital pin input atau output (yang mana 6 pin bisa digunakan sebagai PWM outputs), 6 analog input, 16 MHz *quartz crystal*(clock), fasilitas USB connection, sebuah power jack (DC), sebuah ICSP header dan tombol reset. Arduino Uno berisi segala hal yang dibutuhkan sebagai mikrokontroler, contoh menghubungkan board dengan computer dengan kabel USB atau mencatunya dengan AC ke DC adapter atau baterai untuk menghidupkannya.



Gambar 2. 10 Arduino UNO
(Sumber: Margolis, 2011:3)

Tabel 2. 1 Spesifikasi Arduino UNO

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

Sumber: <https://www.arduino.cc>

Sumber tegangan Arduino UNO dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan daya eksternal. Eksternal (non-USB) daya dapat berasal dari sumber DC. Adaptor ini dapat dihubungkan dengan menancapkan plug jack pusat positif ukuran 2.1 mm konektor power. Ujung kepala dari baterai dapat dimasukkan kedalam Gnd dan Vin pin header dari konektor power. Arduino dapat beroperasi dengan catu daya eksternal 6 V sampai 20 V. Namun jika menggunakan lebih dari 12 V, regulator tegangan bisa panas dan merusak papan. Kisaran yang disarankan adalah 7 V sampai 12 V.

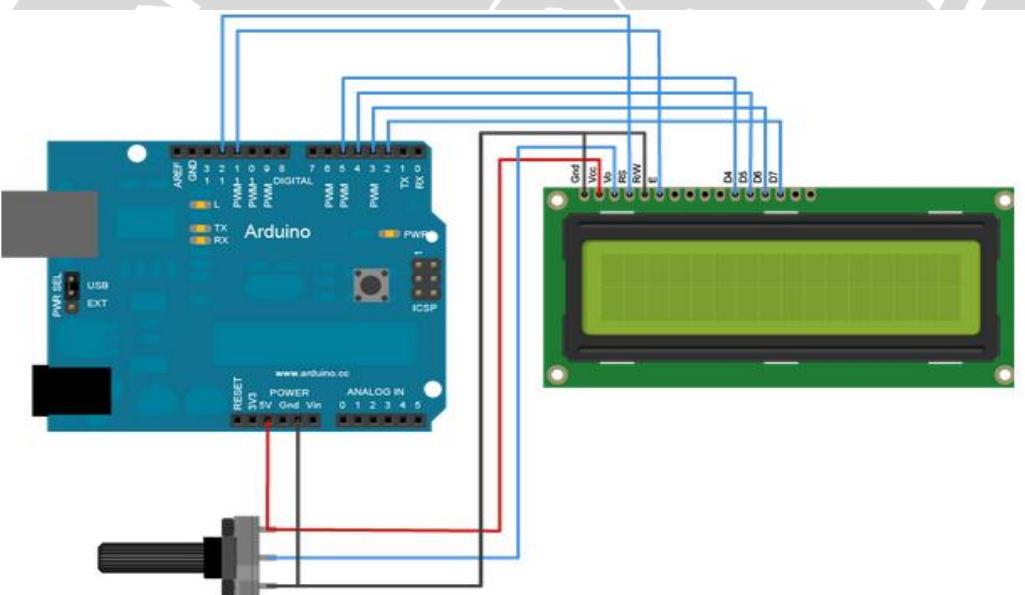
Arduino UNO memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain, atau mikrokontroler lainnya. Arduino UNO menyediakan 4 UART TTL (5V) untuk komunikasi serial. Sebuah Arduino UNO sebagai saluran komunikasi serial melalui USB dan sebagai port virtual com untuk perangkat lunak pada komputer. Firmware '8 U2 menggunakan driver USB standar COM, dan tidak ada *driver eksternal* yang diperlukan. Namun pada Windows diperlukan sebuah file inf. Perangkat lunak Arduino terdapat monitor serial yang memungkinkan digunakan memonitor data tekstual sederhana yang akan dikirim ke atau dari papan Arduino. LED RX dan TX di papan tulis akan berkedip ketika data sedang

dikirim melalui chip USB-to-serial dengan koneksi USB ke komputer (tetapi tidak untuk komunikasi serial pada pin 0 dan 1).

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

2.4 LCD (*Liquid Crystal Display*)

Liquid Crystal Display (LCD) adalah suatu jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. LCD telah digunakan dalam berbagai bidang diantaranya alat-alat elektronik, seperti televisi, kalkulator ataupun layar komputer. Pada gambar 2.11 menunjukkan rangkaian LCD yang terhubung dengan mikrokontroller Arduino.



Gambar 2. 11 Rangkaian LCD dengan Arduino Uno

Sumber: <https://www.arduino.cc>

Pada LCD terdapat 16 pin, masing masing pin memiliki fungsi masing masing untuk dihubungkan dengan mikrokontroller arduino. Pada table 2.2 menunjukkan hubungan masing masing pin terhadap port pada Arduino.



Tabel 2. 2 Pin LCD dan port arduino uno

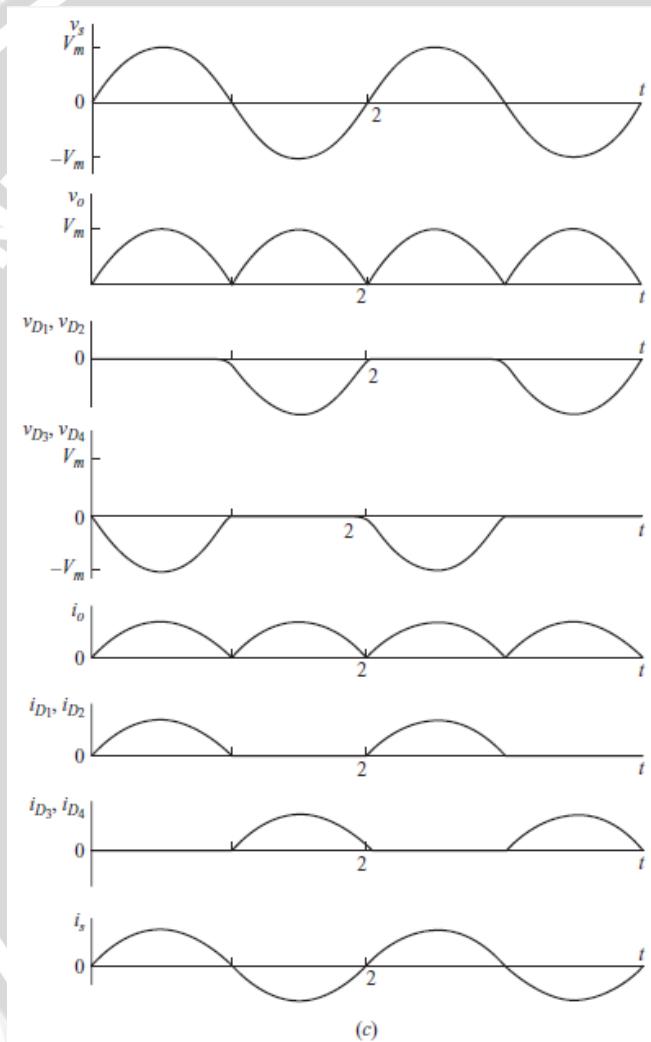
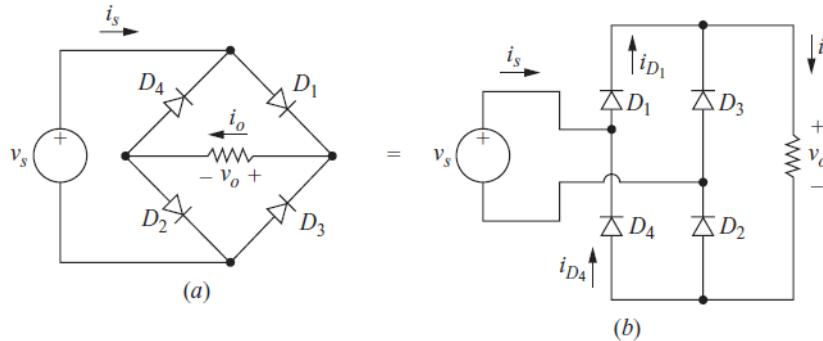
Pin LCD	Pin Arduino
Pin 1 (GND)	GND
Pin 2 (VCC)	+5V
Pin 3 (VSS)	Potentio 50K
Pin 4 (RS)	PORT 12
Pin 5 (R/W)	GND
Pin 6 (E)	PORT 11
Pin 11 (D4)	PORT 5
Pin 12 (D5)	PORT 4
Pin 13 (D6)	PORT 3
Pin 14 (D7)	PORT 2
Pin 15 (LED +)	+5V
Pin 16 (LED -)	GND

2.5 AC – DC converter

AC-DC *converter* atau biasa disebut dengan *rectifier* adalah komponen untuk mengubah sinyal tegangan AC (*Alternating Current*) menjadi tegangan DC (*Direct Current*). Komponen utama dalam penyearah gelombang adalah dioda yang dikonfiguarsikan secara bias maju (*forward bias*). Hal ini dikarenakan dioda memiliki karakteristik yang hanya melewatkkan arus listrik ke satu arah dan menghambat arus listrik dari arah sebaliknya. Jika sebuah dioda dialiri arus bolak-balik (AC), maka dioda tersebut hanya akan melewatkkan setengah gelombang, sedangkan setengah gelombangnya lagi diblokir. Pada dasarnya konsep penyearah gelombang dibagi dalam 2 jenis yaitu, penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh.

2.5.1 Penyearah gelombang penuh 1 fasa tak terkontrol

Rangkaian jembatan penyearah gelombang penuh ditunjukkan pada gambar 2.10



Gambar 2. 12 Jembatan Penyearah Gelombang penuh. (a) *Circuit diagram.* (b) Rangkaian Pengganti. (c) Gelombang Arus dan Tegangan.

Sumber: Hart (2011: 112)

Dari rangkaian jembatan penyearah gelombang penuh dapat dijelaskan bahwa dioda D_1 dan D_2 konduksi saat siklus positif, dan D_3 dan D_4 konduksi saat siklus negatif. Hukum Kirchhoff tegangan disekitar loop yang mengandung sumber, D_1 dan D_3 terlihat tidak dapat

konduksi secara bersamaan. D_2 dan D_4 juga tidak dapat konduksi bersamaan. Arus yang diterima beban hanya bisa positif dan nol tidak bisa negatif. Tegangan disisi beban bernilai V_s+ ketika D_1 dan D_2 aktif dan bernilai V_s- ketika D_3 dan D_4 aktif. Tegangan maksimum diode pada saat bias balik adalah nilai puncak dari sumber. Hal ini dapat ditunjukkan oleh hukum *Kirchhoff* disekitar loop mengandung sumber, D_1 dan D_3 . Ketika D_1 aktif tegangan D_3 sama dengan V_s . Arus yang masuk adalah iD_1 dan iD_4 , yang mana hasilnya adalah 0, oleh karena itu, sumber arus rata-ratanya adalah 0 (Hart, 2011:111).

Untuk beban Resistif (R) keluaran rata-rata (dc) dapat dihitung dengan persamaan 2-11.

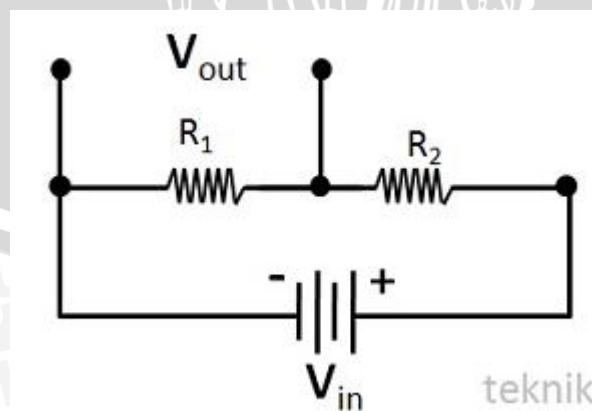
$$V_o = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) \quad (2-11)$$

Dari persamaan 2-11 dapat disederhanakan menjadi:

$$\begin{aligned} V_o &= \frac{1}{\pi} V_m [-\cos \omega t]_0^{\pi} \\ V_o &= \frac{1}{\pi} V_m [-\cos \pi - (-\cos 0)] \\ V_o &= \frac{1}{\pi} V_m [1 + 1] \\ V_o &= \frac{2V_m}{\pi} \end{aligned} \quad (2-12)$$

2.6 Sensor Tegangan

Sensor tegangan atau *voltage divider* adalah suatu rangkaian sederhana yang mengubah tegangan besar menjadi tegangan yang lebih kecil. Rangkaian sensor tegangan memanfaatkan rangkaian pembagi tegangan. Fungsi rangkaian pembagi tegangan ini adalah untuk membagi tegangan input menjadi satu atau beberapa tegangan output yang diperlukan oleh komponen lainnya di dalam rangkaian.



Gambar 2. 13 Rangkaian sederhana pembagi tegangan

Rumus pembagi tegangan :

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \quad (2- 12)$$

2.7 Regresi Linier

Regresi merupakan cara yang digunakan untuk mengetahui suatu persamaan yang belum diketahui dari suatu kumpulan data. Regresi linier digunakan untuk menentukan fungsi linier yang paling sesuai dengan kumpulan titik data (x_n, y_n) yang diketahui. Persamaan matematis untuk garis lurus adalah

$$y = a_0 + a_1 x \quad (2- 13)$$

di mana a_0 dan a_1 adalah koefisien-koefisien yang mewakili perpotongan kemiringan. Untuk mengetahui nilai a_1 maka digunakan persamaan 2-14. Dan untuk mengetahui nilai a_0 digunakan persamaan 2-15 (Chapra, 1989:296).

$$a_1 = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x^2 i - (\sum x_i)^2} \quad (2- 14)$$

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x} \quad (2- 15)$$

n = jumlah data

\bar{y} = rata-rata dari y

\bar{x} = rata-rata dari x





UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam perancangan dan pembuatan tachometer digital menggunakan generator DC yaitu:

1. Generator DC
2. Arduino Uno
3. Multimeter
4. LCD 16x2 cm
5. Kabel penghubung
6. Motor DC penguat terpisah
7. Regulator DC
8. Sensor tegangan
9. Tachometer analog sebagai pembanding

3.2 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan untuk merancang dan membuat tachometer digital menggunakan generator DC di Laboratorium Mesin Elektrik. Penelitian akan dilakukan di lingkungan gedung Laboratorium Mesin Elektrik Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

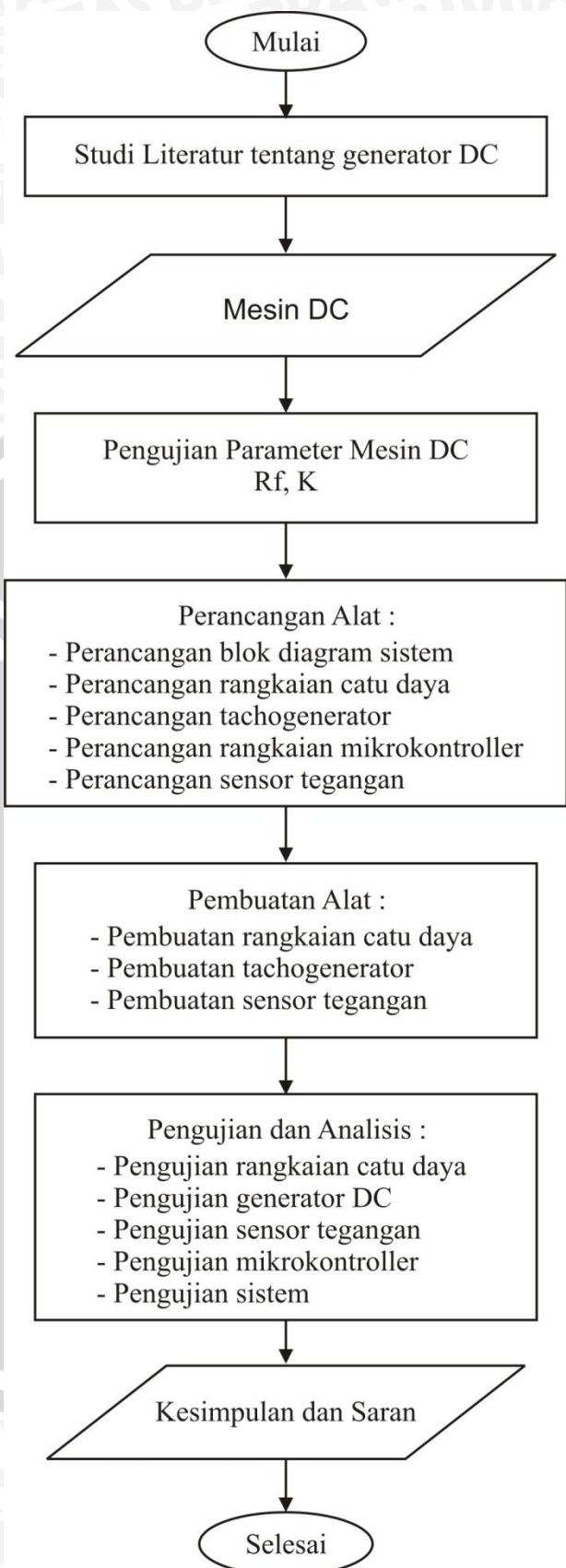
Penelitian akan direncanakan selama 3 bulan dengan menggunakan metode studi literatur yaitu dilakukan untuk mendapatkan pengetahuan dasar tentang segala sesuatu yang mendukung perancangan serta pembuatan alat ini. Pembuatan alat ini menggunakan referensi dari buku-buku maupun jurnal/artikel dari perpustakaan dan internet agar mengetahui prinsip kerja, karakteristik komponen, serta teori yang menunjang.



3.2 Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan diagram alir langkah-langkah utama dalam penelitian





Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.4 Pengujian Parameter Mesin DC

Pengujian parameter mesin DC untuk mencari nilai resistansi medan (R_f) dan konstanta mesin DC (K) yang digunakan untuk menunjang penelitian selanjutnya.

3.4.1 Parameter Kumparan Medan

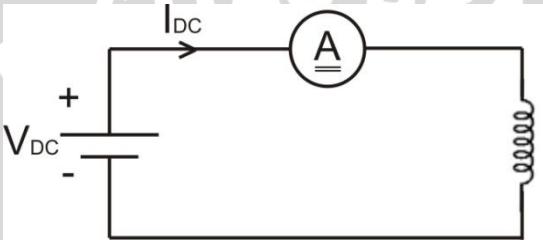
Pada parameter kumparan medan terdapat nilai Resistansi Medan (R_f)

- Mencari nilai R_f

Untuk mencari nilai R_f dilakukan dengan memberi sumber tegangan DC terhadap kumparan medan dan membaca arus yang melewatinya dengan ampermeter DC.

Menentukan nilai R_f dapat dihitung dengan rumus:

$$R_f = \frac{V_{DC}}{I_{DC}} \quad (3-1)$$

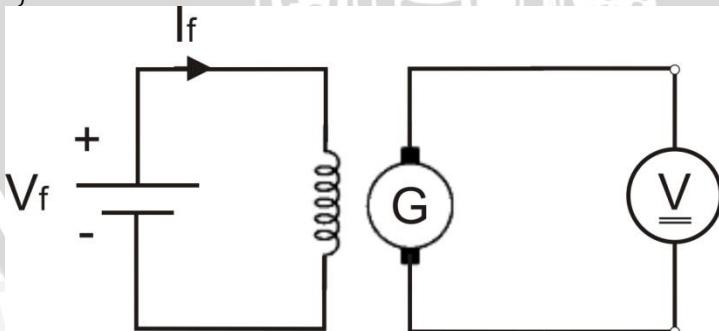


Gambar 3. 2 Rangkaian untuk mencari nilai R_f

3.4.2 Nilai Konstanta K pada Mesin

Mencari nilai K pada mesin DC dapat dioperasikan sebagai generator penguat terpisah. Mengasumsikan nilai flux sebagai fungsi I_f sehingga nilai K dapat dicari dengan rumus:

$$K = \frac{E_A}{nI_f} \quad (3-2)$$



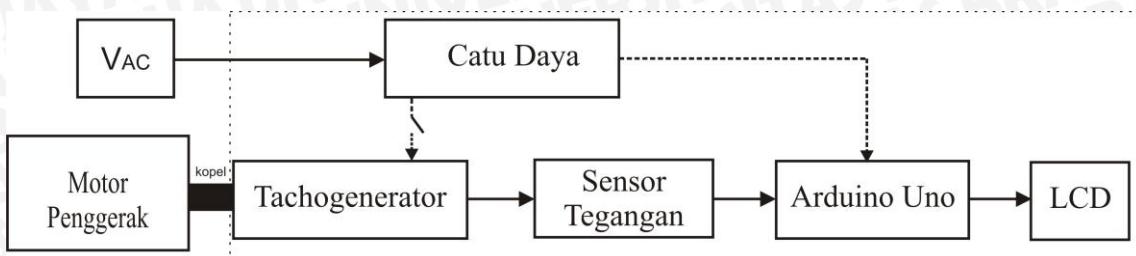
Gambar 3. 3 Rangkaian pengujian nilai konstanta (K)

3.5 Perancangan Alat Tachometer

Rancangan alat ini akan berbentuk tachogenerator yang langsung bisa dikopel dengan mesin lainnya sehingga akan menampilkan putaran mesin secara *realtime* melalui LCD. Sistem ini terdiri dari tachogenerator, LCD, rangkaian catu daya dan perangkat lunak menggunakan Arduino Uno. Diagram blok merupakan penggambaran suatu sistem dalam bentuk blok, setiap blok mewakili elemen sistem yang memiliki fungsi tertentu. Diagram



blok dapat memudahkan dalam menganalisa dan merancang sistem yang akan dibuat. Pada gambar 3.4 menunjukkan diagram blok dari rancangan tachometer menggunakan generator DC.



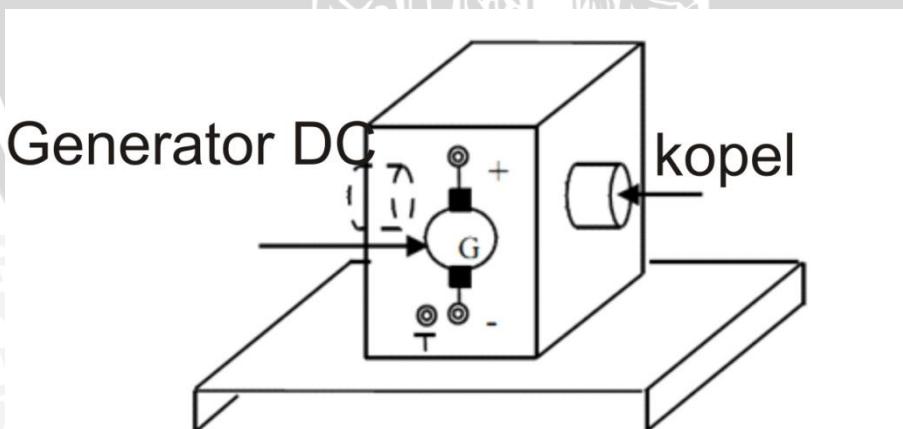
Gambar 3. 4 Blok diagram tachometer menggunakan generator DC

3.5.1 Rangkaian Catu Daya

Rangakaian catu caya ini digunakan untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC yang digunakan untuk suplay mikrokontroller Arduino Uno sebesar 12 volt dan digunakan untuk memberikan arus medan kepada generator sehingga terbentuk fluksi pada generator dan akan bisa menghasilkan tegangan keluaran.

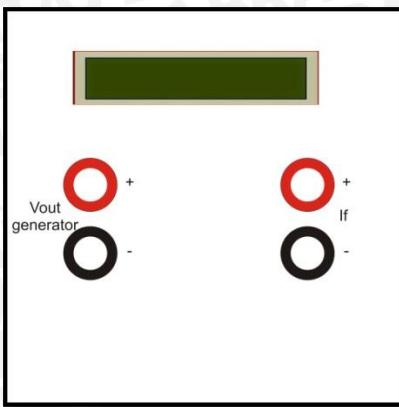
3.5.2 Perancangan Tachogenerator

Tachogenerator dirancang dengan menggunakan generator DC yang bisa dikopel langsung dengan mesin penggerak. Saat mesin berputar akan menghasilkan tegangan keluaran dan akan dikonversi menjadi kecepatan melalui perangkat lunak Arduino Uno. Tegangan keluaran generator DC akan dihubungkan ke masukan arduino untuk dikonversi menjadi kecepatan (RPM) dan akan ditampilkan pada LCD



Gambar 3. 5 Ilustrasi rancangan tachogenerator

Selain tachogenerator yang bisa dikopel langsung dengan mesin penggerak, alat ini juga dibutuhkan kontrol unit untuk menampilkan hasil kecepatan pada LCD.



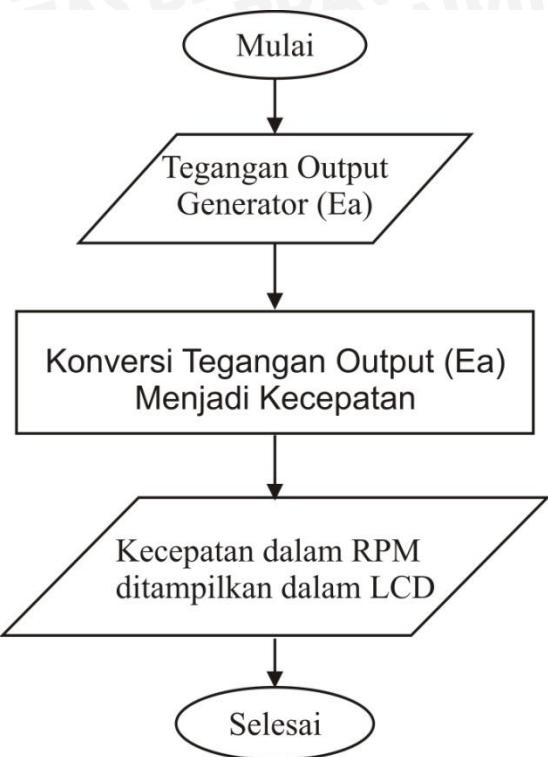
Gambar 3. 6 Ilustrasi rancangan kontrol unit

Pada gambar 3.6 menunjukkan Ilustrasi rancangan dari kontrol unit sistem. Dalam kontrol unit tersebut terdapat beberapa komponen, antara lain komponen catu daya, mikrokontroller, LCD, dan sensor tegangan. Tegangan output dari rangkaian catu daya akan dihubungkan dengan medan generator DC. Tegangan output generator DC akan dihubungkan dengan kontrol unit untuk dimasukkan pada mikrokontroller sehingga akan terbaca pada LCD.

3.5.3 Perancangan Perangkat Lunak

Pada perancangan ini, dibutuhkan algoritma untuk memudahkan saat pembuatan perangkat lunak untuk mikrokontroler. Mikrokontroler digunakan untuk mengkonversi tegangan keluaran generator DC menjadi kecepatan. Untuk menampilkan kecepatan melalui mikrokontroler Arduino, dibutukan sensor tegangan untuk mendeteksi tegangan dan selanjutnya dikonversikan berupa kecepatan. Sensor tegangan juga berguna untuk menkonversi tegangan menjadi lebih kecil, dimana range tegangan masukan pada arduino hanya 0-5V sedangkan tegangan output generator melebihi 5 V.

Kontroler pada penelitian ini bertugas untuk mengolah data yang selanjutnya akan menampilkan kecepatan secara *realtime* melalui LCD. Kontroler membutuhkan suatu perangkat lunak yang akan memberi perintah pada kontroler untuk melakukan tugas yang telah direncanakan. Pada tahap ini akan dibuat diagram alir perangkat lunak dan listing program yang akan diberikan ke mikrokontroler untuk mengendalikan sistem secara keseluruhan. Pada gambar 3.7 menunjukkan flowchart pemrograman pada Arduino.



Gambar 3. 7 Diagram alir program arduino

3.6 Pembuatan Alat

Pembuatan alat dalam penelitian ini dibagi menjadi 2 bagian, yaitu:

1. Perangkat keras

Perangkat keras yang dibuat adalah rangkaian dari masing-masing blok diagram sistem yang telah dirancang sebelumnya.

2. Perangkat lunak

Perangkat lunak yang dibuat adalah program yang telah dirancang dan disimulasikan sebelumnya untuk mengendalikan keseluruhan sistem.

3.7 Pengujian Alat

Pengujian dan analisis diperlukan untuk menentukan kinerja dari tachometer menggunakan generator DC. Pada penelitian ini, pengujian terdiri lima pengujian, yaitu pengujian rangkaian catu daya, pengujian generator DC, pengujian mikrokontroller, pengujian sensor tegangan, dan pengujian sistem secara keseluruhan.

3.7.1 Pengujian Rangkaian Catu Daya

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar konversi tegangan dari AC ke DC yang akan nantinya menjadi masukan Arduino Uno dan sebagai sumber pada medan generator DC.



3.7.2 Pengujian Generator DC

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui konversi tegangan dari energi mekanik yang dikopel dengan motor DC penguat terpisah sebagai penggerak.

3.7.3 Pengujian Sensor Tegangan

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui perbandingan tegangan output generator dengan tegangan output sensor tegangan.

3.7.4 Pengujian Mikrokontroller

Tujuan pengujian ini untuk mengetahui kebenaran konversi tegangan menjadi kecepatan.

3.7.5 Pengujian Sistem

Pengujian sistem secara keseluruhan untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem dan kesesuaian dengan perancangan. Konversi kecepatan dibandingkan dengan menggunakan tachometer mekanik yang ada. Selain itu juga melakukan analisis pengaruh putaran terhadap tegangan keluaran generator.

3.8 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan diambil berdasarkan teori, hasil perhitungan dan analisis, terutama hasil saat pengujian sistem. Kesimpulan ini ditarik berdasarkan kinerja bagian-bagian dari alat. Saran diberikan untuk memberikan masukan kepada pembaca yang akan meneliti lebih lanjut mengenai topik skripsi ini. Saran diberikan berdasarkan kesulitan-kesulitan yang dialami selama penelitian dan hal-hal lain yang perlu dikaji lebih mendalam.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai perancangan dan pembuatan alat tachometer menggunakan generator DC. Selain itu pada bab ini juga akan dilakukan pengujian dan analisis.

4.1 Pengujian Parameter Mesin DC

Pada pengujian parameter mesin DC akan dicari 2 parameter yaitu resistansi medan (R_f) dan konstanta mesin (K).

4.1.1 Pengujian Resistansi Medan (R_f)

4.1.1.1 Tujuan

Tujuan pengujian resistansi medan adalah untuk mengetahui nilai resistansi medan (R_f) pada mesin DC yang akan digunakan sebagai generator DC.

4.1.1.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada pengujian ini adalah

- 1) Pengatur tegangan DC
- 2) Amperemeter DC
- 3) Voltmeter DC

4.1.1.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian resistansi jangkar adalah sebagai berikut:

- 1) Membuat rangkaian pengujian seperti gambar 3.2.
- 2) Memberi sumber tegangan DC pada kumparan medan
- 3) Mengukur arus yang melewati kumparan medan.
- 4) Menghitung nilai resistansi medan sesuai dengan rumus 3-1.

4.1.1.4 Hasil Pengujian

Hasil pengujian resistansi medan ditunjukkan pada table 4.1.



Tabel 4. 1 Hasil pengujian resistansi medan

V_{dc} (V)	I_{dc} (A)	R_f (ohm)
3	0,08	37,50
6	0,17	35,29
9	0,26	34,62
12	0,34	35,29
15	0,41	36,59
18	0,49	36,73
21	0,58	36,21
24	0,66	36,36
rata-rata		36,07

Dari pengujian resistansi medan yang dilakukan dengan 8 kali variasi tegangan DC didapat hasil resistansi medan sebesar 36,07 ohm.

4.1.2 Pengujian Konstanta (K)

4.1.2.1 Tujuan

Tujuan pengujian konstanta (K) adalah untuk mencari nilai konstanta pada mesin DC yang akan digunakan sebagai generator DC.

4.1.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada pengujian ini adalah

- 1) Amperemeter DC
- 2) Voltmeter DC
- 3) Tachometer
- 4) Motor DC penguat terpisah

4.1.2.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian konstanta adalah sebagai berikut:

- 1) Membuat rangkaian pengujian seperti gambar 3.3.
- 2) Mengkopel poros generator dengan motor DC penguat terpisah
- 3) Memberi arus penguat medan (I_f) sebesar 1 A.
- 4) Memutar motor DC penguat terpisah secara berubah-ubah.
- 5) Mengukur tegangan keluaran generator tanpa beban seiring perubahan kecepatan motor.
- 6) Menghitung nilai konstanta dengan rumus 3-2.

4.1.2.4 Hasil Pengujian

Hasil pengujian konstanta mesin DC ditunjukkan pada table 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil pengujian nilai konstanta

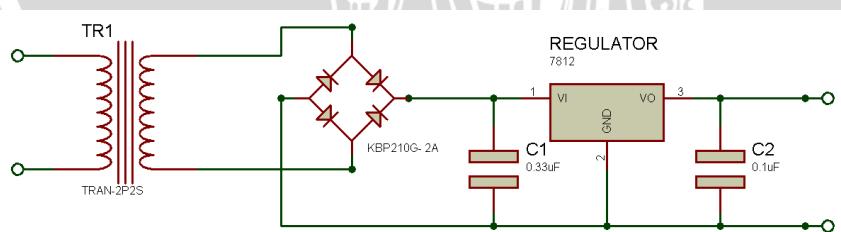
Putaran (rpm)	E _a (V)	K
1000	21,50	0,0215
1200	25,85	0,0215
1400	29,50	0,0211
1600	35,40	0,0221
1800	38,70	0,0215
2000	43,00	0,0215
rata-rata		0,0215

Dari pengujian nilai konstanta yang dilakukan dengan 6 kali perubahan kecepatan motor penggerak didapat hasil nilai konstanta dari mesin DC yang akan digunakan sebagai generator DC adalah sebesar 0,0215

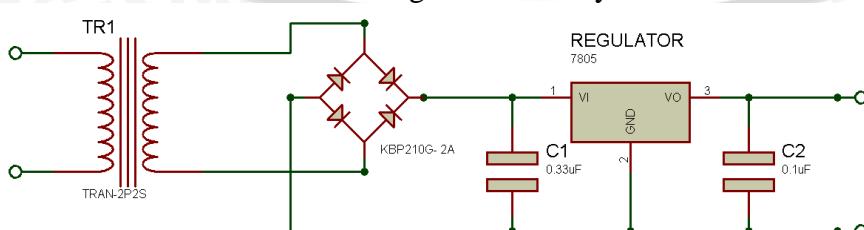
4.2 Perancangan Alat

4.2.1 Perancangan Catu Daya

Mikrokontroller arduino membutuhkan suplai daya DC sebesar 12V. Selain itu medan generator akan diberi suplai daya DC sebesar 5V. Sehingga dibutuhkan rangkaian catu daya untuk menyesuaikan tegangan dari sumber AC 220V menjadi 5V dan 12V. Rangkaian catu daya 12V ditunjukkan pada gambar 4.1 dan rangkaian catu daya 5V ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4. 1 Rangkaian catu daya 12V



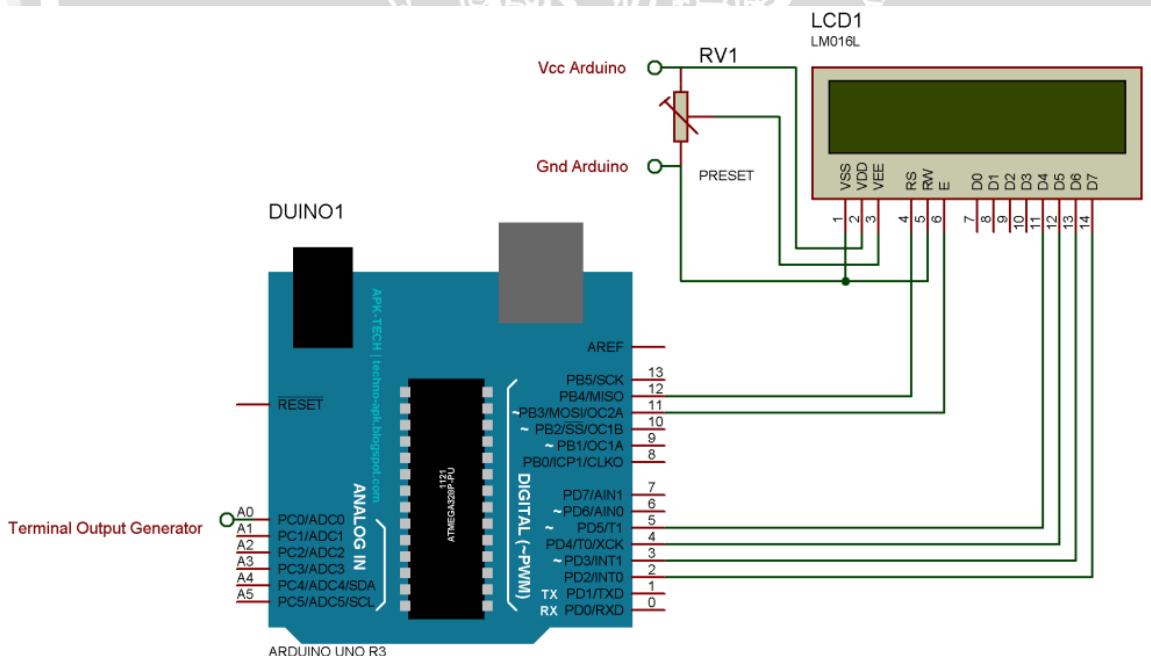
Gambar 4. 2 Rangkaian catu daya 5V

Pada rangkaian catu daya 12V digunakan trafo penurun tegangan 220/12 V. Untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC digunakan diode penyuarah gelombang penuh. Sebagai regulator 12V menggunakan IC *positif voltage regulator* LM7812 dengan spesifikasi tegangan keluaran 12V dan arus maksimal 1 A. Pada catu daya 5V digunakan trafo penurun tegangan 220/12 V. Untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC digunakan diode penyuarah gelombang penuh. Sebagai regulator 5V menggunakan IC *positif voltage regulator* LM7805 dengan spesifikasi tegangan keluaran 5V dan arus maksimal 1 A. Pada rangkaian regulator ditambahkan komponen berupa kapasitor filter C1 0,33uF dan kapasitor filter C2 0,1uF sesuai dengan *application note* datasheet LM78XX.

4.2.2 Perancangan Rangkaian Mikrokontroller

Pada perancangan sistem ini, mikrokontroler Arduino Uno digunakan sebagai pengolah utama algoritma. Total penggunaan pin yang digunakan adalah 6 pin digital yang digunakan untuk port LCD dan 1 buah pin analog yang digunakan untuk tegangan keluaran generator. Tegangan keluaran generator akan masuk pada sensor tegangan terlebih dahulu kemudian dimasukkan pada pin A0. Rangkaian Mikrokontroller ditunjukkan pada gambar

4.3.



Gambar 4. 3 Rangkaian Mikrokontroller

4.2.3 Perancangan Sensor Tegangan

Untuk mengambil sinyal tegangan dari generator agar bisa dibaca oleh arduino dengan tegangan maksimal 5 volt maka digunakan resistor pembagi tegangan sesuai dengan gambar 2.13. Rangkaian sensor tegangan ini menggunakan beberapa resistor yang dirangkai secara seri.

Fungsi resistor ini adalah untuk menurunkan tegangan dari tegangan keluaran generator dengan nilai maksimal 25 menjadi tegangan yang dikehendaki yaitu maksimal 5 volt untuk dimasukkan pada mikrokontroller. Maka dengan menggunakan persamaan pembagi tegangan didapatkan

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times V_{in}$$

$$5 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times 25$$

Ditentukan $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$

$$5 = \frac{10\text{k}}{10\text{k} + R_2} \times 25$$

$$50\text{k} + 5R_2 = 250\text{k}$$

$$5R_2 = 200\text{k}$$

$$R_2 = 40\text{k}$$

Penentuan nilai R_2 disesuaikan dengan nilai resistor yang tersedia di pasaran, maka dipilih nilai $R_1 = 39\text{k}\Omega$ yang diseri dengan $1 \text{ k}\Omega$

Resistor yang digunakan harus kuat terhadap panas efek dari arus yang mengalir, maka dari itu perlu dihitung arus yang mengalir pada resistor:

$$i = \frac{V}{R_1 + R_2}$$

$$i = \frac{25}{50000}$$

$$i = 0,0005 \text{ A}$$

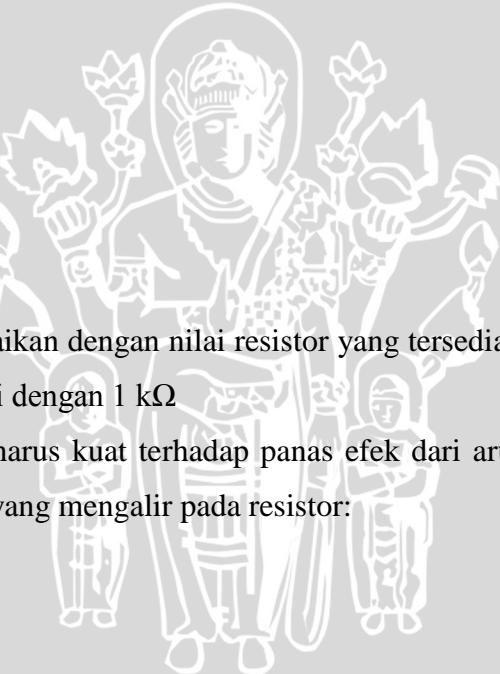
Perhitungan panas pada resistor R_1 :

$$P = i^2 \times R$$

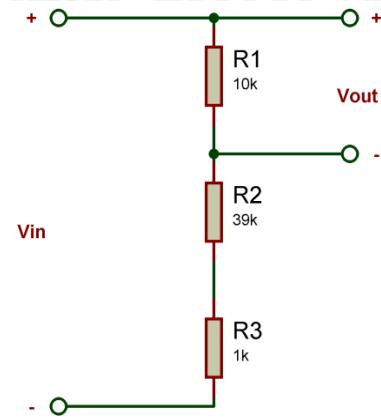
$$P = 0,0005^2 \times 50000$$

$$P = 0,0125 \text{ watt}$$

Nilai daya pada resistor R_1 dan R_2 harus lebih besar dari 0,0125 watt supaya resistor tidak terbakar. Maka dari itu pada penentuan resistor ini dipilih resistor R_1 dan R_2 dengan



daya masing-masing 1 watt. Gambar rangkaian sensor tegangan ditunjukkan pada gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Rangkaian sensor tegangan

4.3 Pengujian Alat

4.3.1 Pengujian Rangkaian Catu Daya

4.3.1.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja rangkaian catu daya sebagai catu daya dari arduino dan untuk suplai arus medan pada generator.

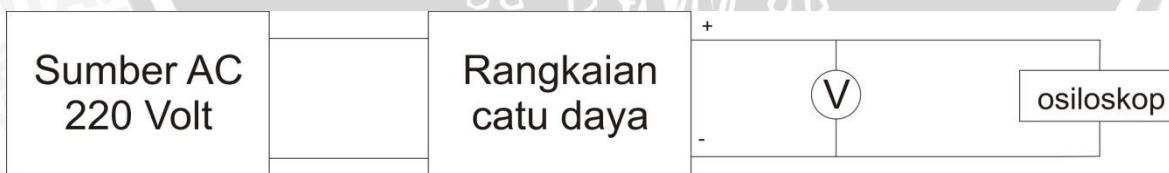
4.3.1.2 Peralatan

- 1) Sumber AC 1 fasa 220V 50 Hz
- 2) Osiloskop
- 3) Probe osiloskop
- 4) Multimeter

4.3.1.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian rangkaian catu daya adalah sebagai berikut:

- 1) Membuat rangkaian pengujian seperti gambar 4.5

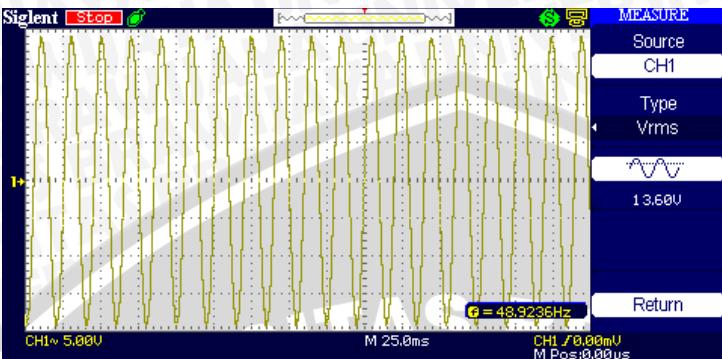


Gambar 4. 5 Rangkaian pengujian catu daya

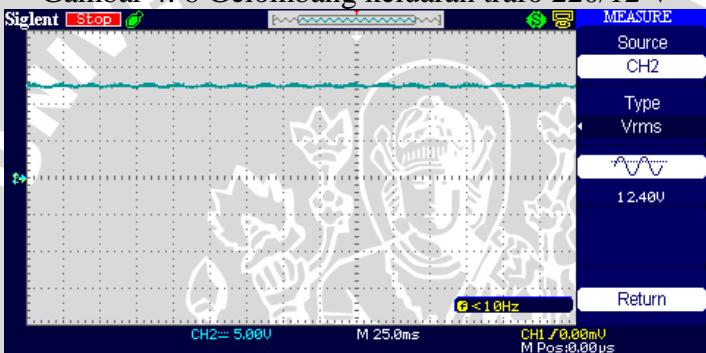
- 2) Menghubungkan probe 1 osiloskop ke sekunder trafo 220/12 V dan probe 2 osiloskop ke keluaran rangkaian catu daya.
- 3) Mengukur tegangan keluaran dan amati gelombang keluaran di osiloskop.

4.3.1.4 Hasil Pengujian

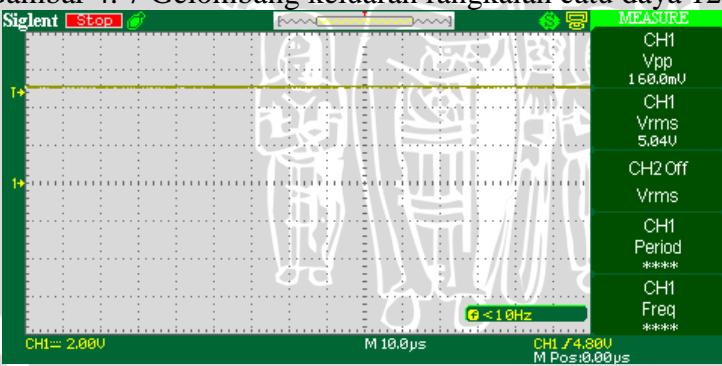
Gelombang tegangan keluaran transformator 220/12V ditunjukkan pada gambar 4.6 dan gelombang tegangan keluaran rangkaian catu daya 12V ditunjukkan pada gambar 4.7. Gelombang tegangan keluaran catu daya 5V ditunjukkan pada gambar 4.8.



Gambar 4. 6 Gelombang keluaran trafo 220/12 V



Gambar 4. 7 Gelombang keluaran rangkaian catu daya 12V



Gambar 4. 8 Gelombang keluaran rangkaian catu daya 5V

4.3.1.5 Analisis Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian terlihat gelombang tegangan keluaran rangkaian catu daya 12V pada gambar 4.7 besarnya tagangan sebesar 12,4 V. Pada gambar 4.8 terlihat gelombang keluaran catu daya 5V dengan besar tegangan 5,04V. Dari gambar 4.7 dan 4.8 terlihat keluaran rangkaian catu daya yang bebas dari ripple dan menyerupai DC murni.

4.3.2 Pengujian Generator DC

4.3.2.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari generator DC baik pada generator DC *shunt* dan generator DC penguat terpisah.

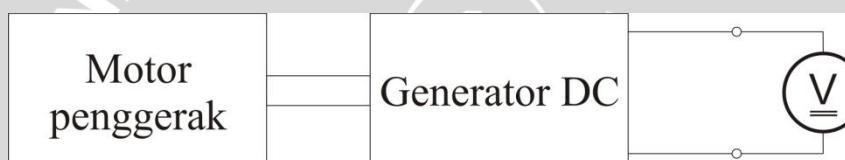
4.3.2.2 Peralatan

- 1) Tachometer
- 2) Voltmeter DC
- 3) Motor DC penguat terpisah
- 4) Regulator DC
- 5) Generator DC

4.3.2.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian generator DC adalah sebagai berikut:

- 1) Membuat rangkaian pengujian seperti gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Rangkaian pengujian generator DC

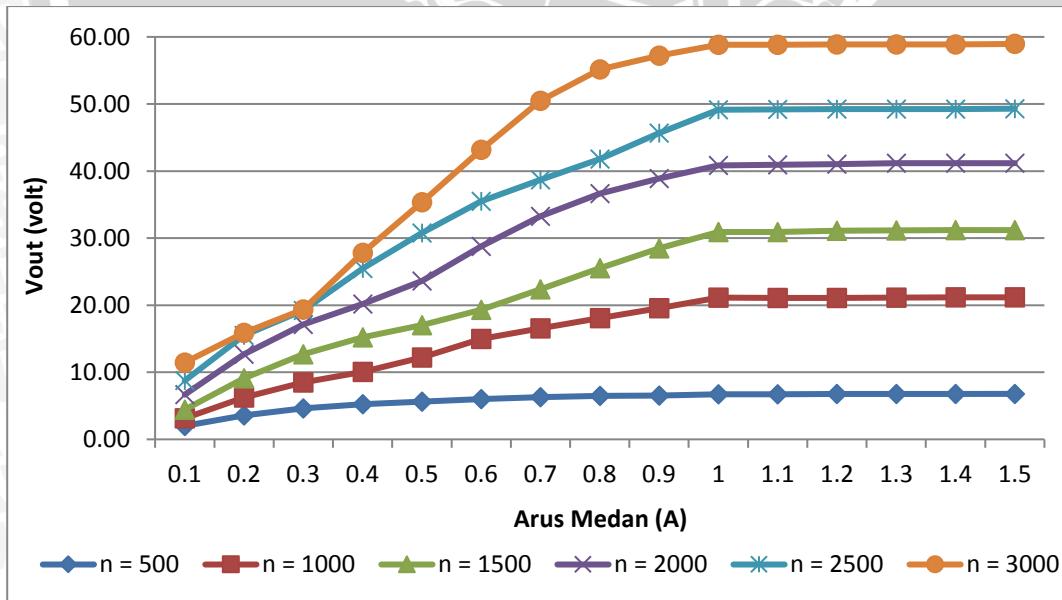
- 2) Memutar motor DC penguat terpisah dengan kecepatan bervariasi dengan maksimal putaran 3000 RPM.
- 3) Mengukur tegangan keluaran generator DC setiap perubahan kecepatan.

4.3.2.3 Hasil Pengujian

Pada pengujian pertama dilakukan pengujian untuk mendapatkan resistansi kritis dari generator DC shunt dengan memfungsikan generator DC sebagai generator penguat terpisah. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 4.3 dan grafik hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 4.10

Tabel 4. 3 Hasil pengujian resistansi kritis generator DC

If (A)	Vout (volt)					
	500	1000	1500	2000	2500	3000
0,1	2,01	3,15	4,43	6,66	8,75	11,46
0,2	3,55	6,25	9,12	12,70	15,50	15,90
0,3	4,60	8,50	12,70	17,10	19,20	19,35
0,4	5,23	10,06	15,20	20,20	25,46	27,80
0,5	5,63	12,19	17,03	23,60	30,78	35,35
0,6	6,01	14,99	19,30	28,76	35,50	43,20
0,7	6,27	16,57	22,35	33,25	38,67	50,50
0,8	6,47	18,06	25,50	36,65	41,78	55,15
0,9	6,55	19,55	28,50	38,90	45,64	57,20
1,0	6,72	21,12	30,90	40,85	49,15	58,85
1,1	6,73	21,08	30,93	40,93	49,18	58,85
1,2	6,75	21,10	31,12	41,05	49,24	58,90
1,3	6,76	21,15	31,14	41,15	49,25	58,90
1,4	6,76	21,17	31,18	41,15	49,25	58,90
1,5	6,78	21,17	31,19	41,17	49,30	58,95

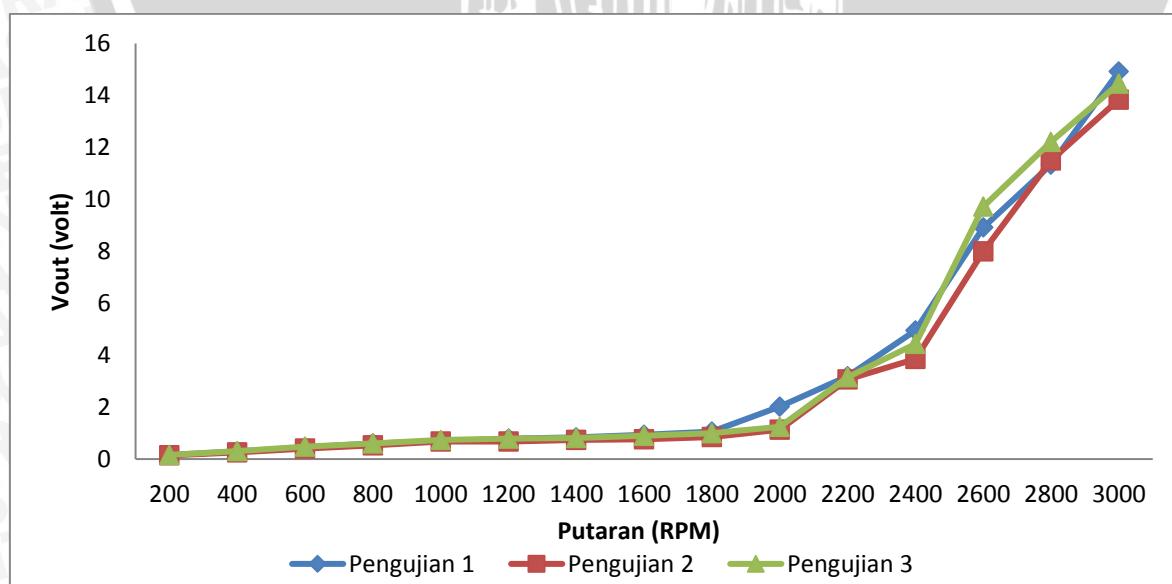


Gambar 4. 10 Hasil pengujian resistansi kritis generator

Pada pengujian kedua dilakukan pengujian generator DC *shunt* dengan kecepatan rotor bervariasi antara 200 hingga 3000 RPM. Hasil pengujian generator DC *shunt* ditunjukkan pada tabel 4.4 dan grafik hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 4.11

Tabel 4. 4 Hasil pengujian generator DC *shunt*

Putaran (RPM)	V _{out} (volt)		
	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3
200	0,16	0,14	0,16
400	0,29	0,26	0,31
600	0,45	0,40	0,48
800	0,60	0,53	0,60
1000	0,69	0,67	0,73
1200	0,78	0,68	0,78
1400	0,83	0,73	0,81
1600	0,93	0,76	0,90
1800	1,06	0,85	1,00
2000	2,02	1,13	1,24
2200	3,19	3,06	3,15
2400	4,95	3,85	4,43
2600	8,92	7,99	9,72
2800	11,33	11,49	12,21
3000	14,92	13,84	14,45

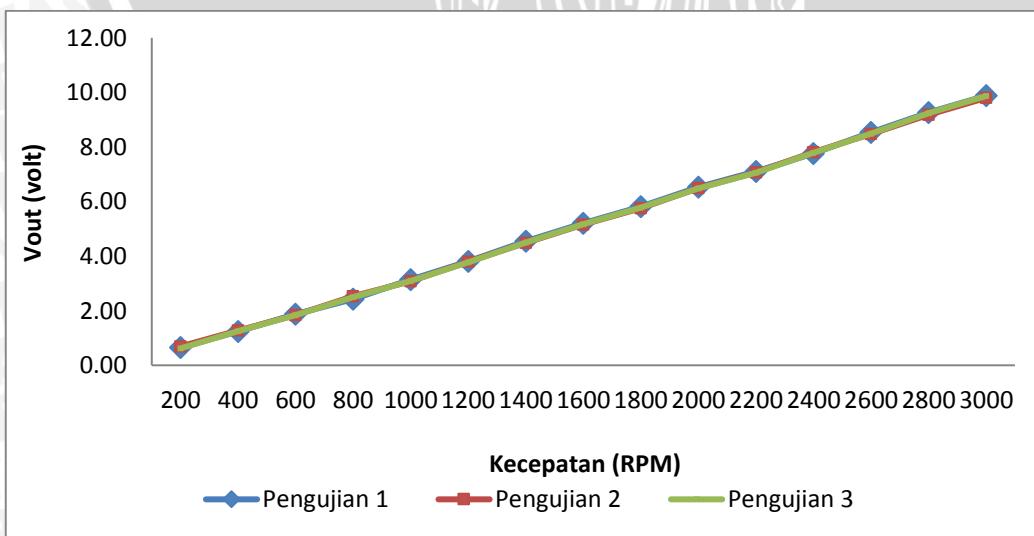


Gambar 4. 11 Grafik hasil pengujian generator DC *shunt*

Pada pengujian berikutnya dilakukan pengujian generator penguat terpisah dengan sumber medan diberi penguatan sebesar 5V. Pengujian dilakukan dengan kecepatan bervariasi antara 200 hingga 3000 RPM. Hasil pengujian generator DC penguat terpisah ditunjukkan pada tabel 4.5 dan grafik hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 4.12

Tabel 4. 5 Hasil pengujian generator DC penguat terpisah

Putaran (RPM)	Vout (volt)			Rata-rata
	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3	
200	0,65	0,69	0,62	0,65
400	1,24	1,27	1,25	1,25
600	1,87	1,84	1,84	1,85
800	2,42	2,53	2,50	2,48
1000	3,14	3,08	3,09	3,10
1200	3,81	3,80	3,77	3,79
1400	4,55	4,49	4,50	4,51
1600	5,21	5,16	5,17	5,18
1800	5,81	5,76	5,78	5,78
2000	6,53	6,50	6,48	6,50
2200	7,11	7,07	7,06	7,08
2400	7,76	7,81	7,78	7,78
2600	8,54	8,48	8,49	8,50
2800	9,26	9,18	9,24	9,23
3000	9,88	9,80	9,87	9,85



Gambar 4. 12 Grafik Hasil pengujian generator DC penguat terpisah

4.3.2.4 Analisis Hasil Pengujian

Pada pengujian pertama dilakukan untuk mencari resistansi kritis dari generator DC *shunt*. Pada generator DC didapatkan nilai kejemuhan inti besi pada saat arus medan sebesar 1 A. Tegangan keluaran generator pada saat kecepatan paling rendah yaitu sebesar 6,72 V. Karena besarnya nilai arus medan pada generator DC *shunt* yaitu besarnya tegangan keluaran dibagi dengan resistansi medan, sehingga untuk mendapatkan nilai arus medan 1 A, generator DC harus memiliki resistansi medan sebesar 6,72 ohm. Generator yang ada memiliki resistansi medan sebesar 36,07 ohm, sehingga tidak cocok dipakai sebagai generator DC *shunt* karena nilai resistansi medan lebih besar dari resistansi kritisnya. Terbukti pada percobaan kedua, tegangan keluaran yang dihasilkan generator DC *shunt* tidak stabil dan tidak linier.

Pada pengujian generator DC penguat terpisah, didapatkan hasil tegangan keluaran yang linier dengan variasi kecepatan antara 200 hingga 3000 RPM. Berdasarkan hasil pengujian, maka untuk tachometer menggunakan generator DC lebih cocok digunakan penguat terpisah daripada generator DC *shunt*. Dari table 4.5 tegangan keluaran generator DC penguat terpisah dikonversi menjadi kecepatan dalam RPM. Konversi dari tegangan output generator dalam satuan volt menjadi kecepatan dalam RPM dapat dilakukan dengan 2 alternatif yaitu dengan rumus tegangan output generator dan dapat dilakukan dengan regresi linier.

4.3.2.4.1 Konversi dengan Rumus Tegangan Output

Tegangan output generator tanpa beban yang ditunjukkan pada rumus 2-7, sehingga untuk mencari nilai kecepatan dapat dihitung dengan rumus:

$$n = \frac{E_a}{K\phi}$$

Karena $\phi \approx I_f$

Maka

$$n = \frac{E_a}{KI_f}$$

Sehingga konversi tegangan secara keseluruhan dari data tegangan output generator penguat terpisah pada tabel 4.5 ditunjukkan pada tabel 4.6

Tabel 4. 6 Hasil konversi dengan rumus tegangan keluaran generator

Vout (V)	Kecepatan (RPM)		Kesalahan (%)
	Sebenarnya	Konversi	
0,65	200	217,5004	8,75
1,25	400	418,2700	4,57
1,85	600	619,0397	3,17
2,48	800	829,8477	3,73
3,10	1000	1037,3097	3,73
3,79	1200	1268,1947	5,68
4,51	1400	1509,1183	7,79
5,18	1600	1733,3110	8,33
5,78	1800	1934,0806	7,45
6,50	2000	2175,0042	8,75
7,08	2200	2369,0815	7,69
7,78	2400	2603,3127	8,47
8,50	2600	2844,2362	9,39
9,23	2800	3088,5059	10,30
9,85	3000	3295,9679	9,87
Kesalahan rata-rata			7,18

Pada konversi menggunakan rumus tegangan output tanpa beban dengan arus medan sebesar 0,139 A dan konstanta (K) sebesar 0,0215 didapat konversi dengan kesaalahan terbesar yaitu 10,30 % dan kesalahan terkecil sebesar 3,17% serta kesalahan rata-rata sebesar 7,18% dari nilai kecepatan sebenarnya.

4.3.2.4.2 Konversi dengan Regresi Linier

Dari pengujian generator penguat terpisah pada tabel 4.5 didapatkan 2 variabel x dan variable y. Tegangan output generator sebagai variable x sedangkan kecepatan sebagai variable y. Perhitungan regresi linier dari rumus 2-14 didapat nilai a_1 sebesar 301,9965 dan dari rumus 2-15 didapat nilai a_0 sebesar 39,0805. Persamaan yang dihasilkan untuk menghitung kecepatan sesuai dengan persamaan 2-13 adalah

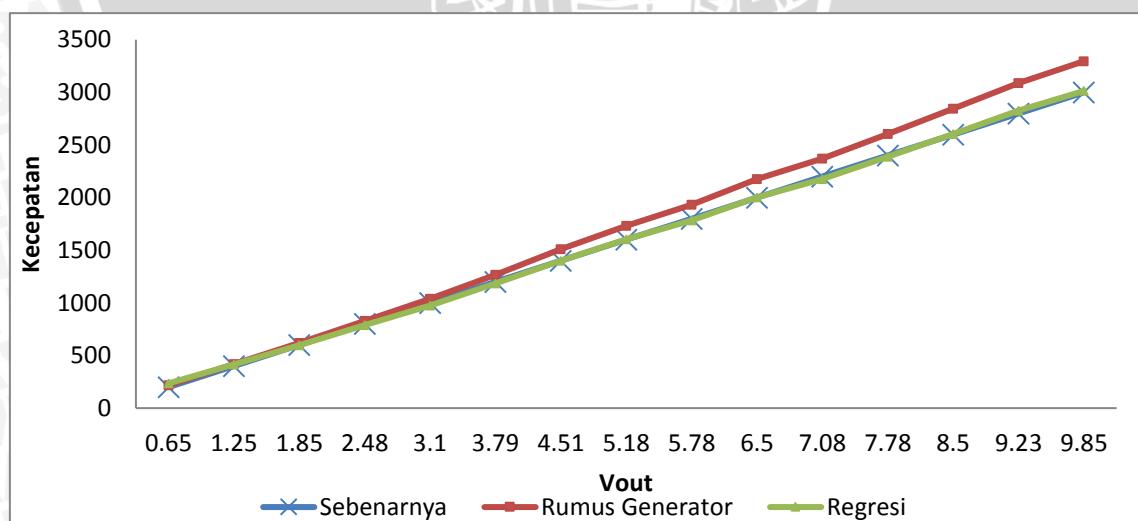
$$n = 301,9965 x + 39,0805$$

Hasil perhitungan konversi dengan menggunakan regresi linier ditunjukkan pada tabel 4.7

Tabel 4. 7 Hasil konversi dengan regresi linier

Vout (V)	Kecepatan		Kesalahan (%)
	Sebenarnya	Konversi	
0,65	200	235,38	17,69
1,25	400	416,58	4,14
1,85	600	597,78	0,37
2,48	800	788,03	1,50
3,10	1000	975,27	2,47
3,79	1200	1183,65	1,36
4,51	1400	1401,09	0,08
5,18	1600	1603,43	0,21
5,78	1800	1784,62	0,85
6,50	2000	2002,06	0,10
7,08	2200	2177,22	1,04
7,78	2400	2388,62	0,47
8,50	2600	2606,06	0,23
9,23	2800	2826,51	0,95
9,85	3000	3013,75	0,46
Kesalahan rata-rata			2,13

Hasil konversi menggunakan regresi linier didapat kesalahan terbesar sebesar 17,69% dan kesalahan terendah sebesar 0,08% serta kesalahan rata-rata sebesar 2,13%.



Gambar 4. 13 Hasil Konversi

Pada gambar 4.13 menunjukkan grafik kecepatan yang sebenarnya dan hasil konversi menggunakan regresi dan rumus tegangan keluaran generator tanpa beban. Konversi dengan

regresi linier menghasilkan kesalahan lebih kecil dibandingkan dengan konversi menggunakan rumus tegangan keluaran generator tanpa beban, sehingga pada program mikrokontroller digunakan konversi menggunakan regresi linier.

4.3.3 Pengujian Sensor Tegangan

4.3.3.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui performansi dari sensor tegangan.

4.3.3.2 Peralatan

- 1) Regulator DC
- 2) Voltmeter DC
- 3) Kabel penghubung

4.3.3.3 Prosedur pengujian

Prosedur pengujian sensor tegangan adalah sebagai berikut:

- 1) Menyusun rangkaian pengujian seperti pada gambar 4.14



Gambar 4. 14 Rangkaian pengujian sensor tegangan

- 2) Menghubungkan tegangan masukan DC pada port input sensor tegangan
- 3) Memberi sumber DC secara berubah-ubah
- 4) Mengukur tegangan keluaran dari sensor tegangan

4.3.3.4 Hasil Pengujian

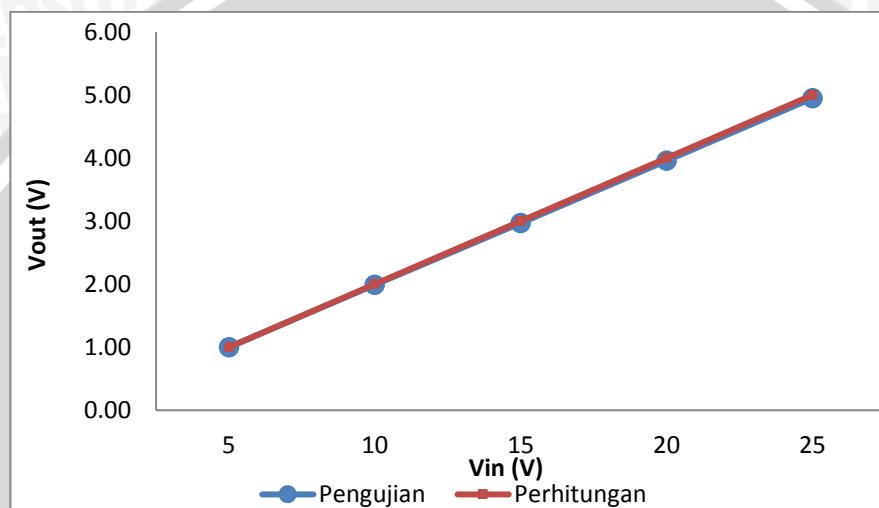
Data hasil pengujian sensor tegangan ditunjukkan pada tabel 4.8 dan grafik hasil pengujian sensor tegangan ditunjukkan pada gambar 4.15.

Tabel 4. 8 Hasil pengujian sensor tegangan

	Vout (V)	



V _{in} (V)	Pengujian	Perhitungan	Kesalahan (%)
5	1,00	1,00	0,00
10	1,99	2,00	0,50
15	2,97	3,00	1,00
20	3,96	4,00	1,00
25	4,95	5,00	1,00
Kesalahan rata-rata			0,70



Gambar 4. 15 Grafik hasil pengujian sensor tegangan

4.3.3.5 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan data hasil pengujian pada tabel 4.8 didapatkan kesalahan tertinggi sebesar 1% dan kesalahan rata-rata sebesar 0,7%. Tegangan keluaran dari sensor tegangan sesuai yaitu sebesar seperlima dari tegangan masukan.

4.3.4 Pengujian Mikrokontroller

4.3.4.1 Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui performansi dari program mikrokontroller.

4.3.4.2 Peralatan

- 1) Regulator DC
- 2) Sensor Tegangan
- 3) Kabel penghubung

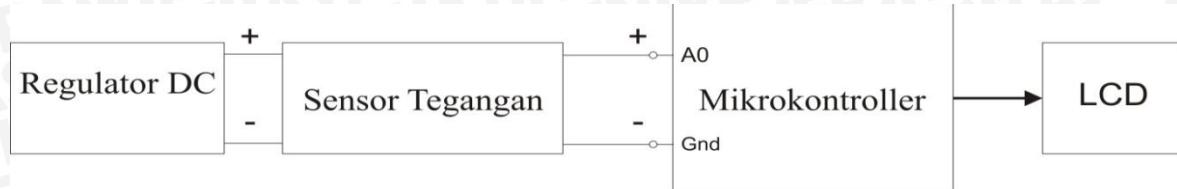


4) LCD

4.3.4.3 Prosedur pengujian

Prosedur pengujian sensor tegangan adalah sebagai berikut:

- 1) Menyusun rangkaian pengujian seperti pada gambar 4.16



Gambar 4. 16 Rangkaian pengujian mikrokontroler

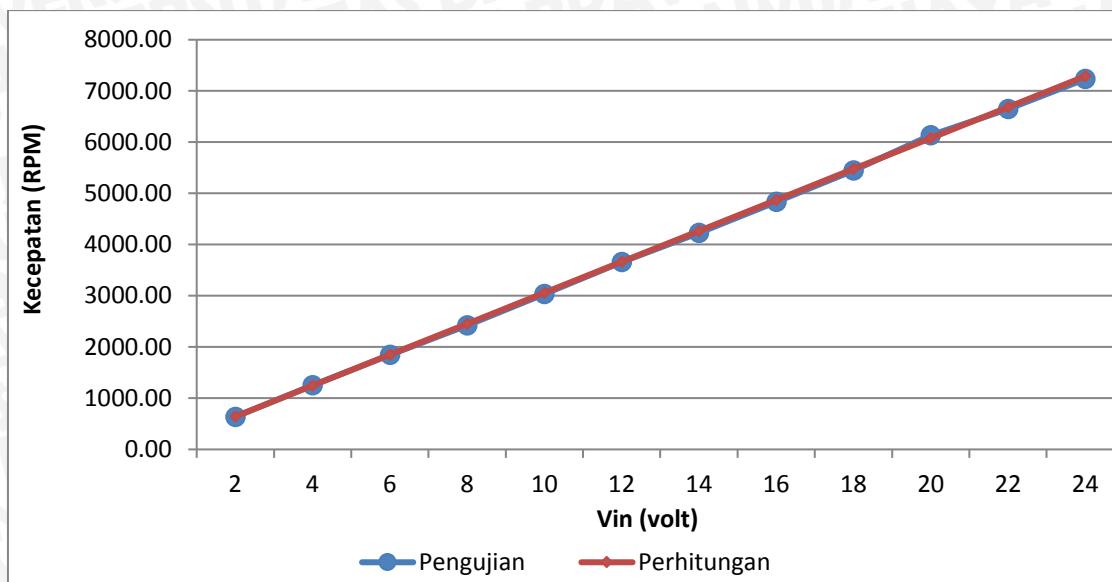
- 2) Memberi sumber DC secara berubah-ubah antara 0-25 V
- 3) Membaca nilai kecepatan yang ditampilkan pada LCD

4.3.4.4 Hasil Pengujian

Data hasil pengujian sensor tegangan ditunjukkan pada tabel 4.9 dan grafik hasil pengujian sensor tegangan ditunjukkan pada gambar 4.17.

Tabel 4. 9 Hasil pengujian program mikrokontroler

Vin (V)	Kecepatan		Kesalahan (%)
	Pengujian	Perhitungan	
2	635,21	643,07	1,22
4	1249,43	1247,07	0,19
6	1847,22	1851,06	0,21
8	2423,35	2455,06	1,29
10	3034,25	3059,05	0,81
12	3659,42	3663,04	0,10
14	4227,69	4267,04	0,92
16	4833,05	4871,03	0,78
18	5445,90	5475,03	0,53
20	6134,93	6079,02	0,92
22	6646,25	6683,01	0,55
24	7231,42	7287,01	0,76
Kesalahan rata-rata (%)			0,69



Gambar 4. 17 Grafik hasil pengujian program mikrokontroller

4.3.4.5 Analisis Hasil Pengujian

Pada pengujian program mikrokontroller pada tabel 4.9 didapatkan nilai kesalahan tertinggi sebesar 1,29% dan nilai kesalahan terendah sebesar 0,10% dan kesalahan rata-rata sebesar 0,69%. Program mikrokontroller ini nantinya yang akan mengubah tegangan keluaran generator menjadi kecepatan dalam RPM yang akan ditampilkan dalam LCD.

4.3.5 Pengujian Sistem Keseluruhan

4.3.5.1 Tujuan

Pengujian sistem keseluruhan bertujuan untuk mengetahui keberhasilan alat

4.3.5.2 Peralatan

- 1) Motor DC
- 2) Tachogenerator
- 3) Kontrol Unit
- 4) Kabel penghubung
- 5) Tachometer

4.3.5.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian sistem keseluruhan adalah sebagai berikut:

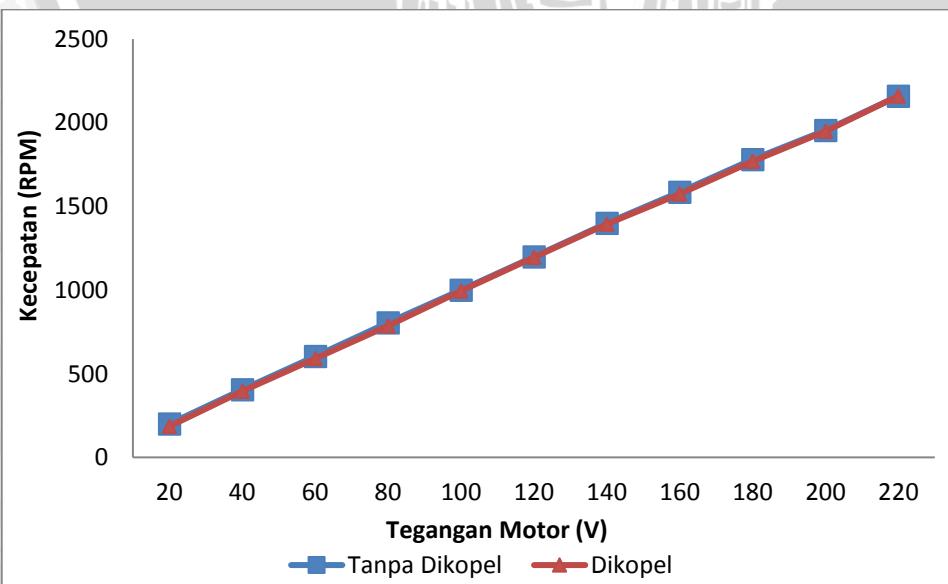
- 1) Menyusun sistem keseluruhan seperti blok diagram pada gambar 3.4
- 2) Mengkopel tachogenerator dengan motor DC penguat terpisah
- 3) Memutar motor penggerak dengan kecepatan variasi dengan cara mengubah tegangan jangkar motor penggerak yang diukur dengan tachometer yang sudah ada
- 4) Membaca tampilan kecepatan pada LCD.

4.3.5.4 Hasil Pengujian

Pengujian sistem keseluruhan merupakan hasil akhir untuk rancang bangun tachometer menggunakan generator DC. Selain itu, pengujian sistem juga bertujuan untuk mengetahui pengaruh pembebanan tachometer generator DC yang dikopel terhadap motor penggeraknya. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 4.10 dan grafik pengaruh kopel tachometer terhadap motor penggerak ditunjukkan pada gambar 4.18.

Tabel 4. 10 Pengaruh kopel terhadap motor penggerak

Tegangan Motor (Volt)	Kecepatan Motor		Kesalahan (%)
	Tanpa Tachogenerator	Dikopel dengan Tachogenerator	
20	200	185	7,50
40	405	395	2,47
60	605	590	2,48
80	805	785	2,48
100	1000	995	0,50
120	1200	1195	0,42
140	1400	1395	0,36
160	1585	1575	0,63
180	1780	1770	0,56
200	1955	1950	0,26
220	2160	2160	0,00
Kesalahan rata-rata (%)			1,61

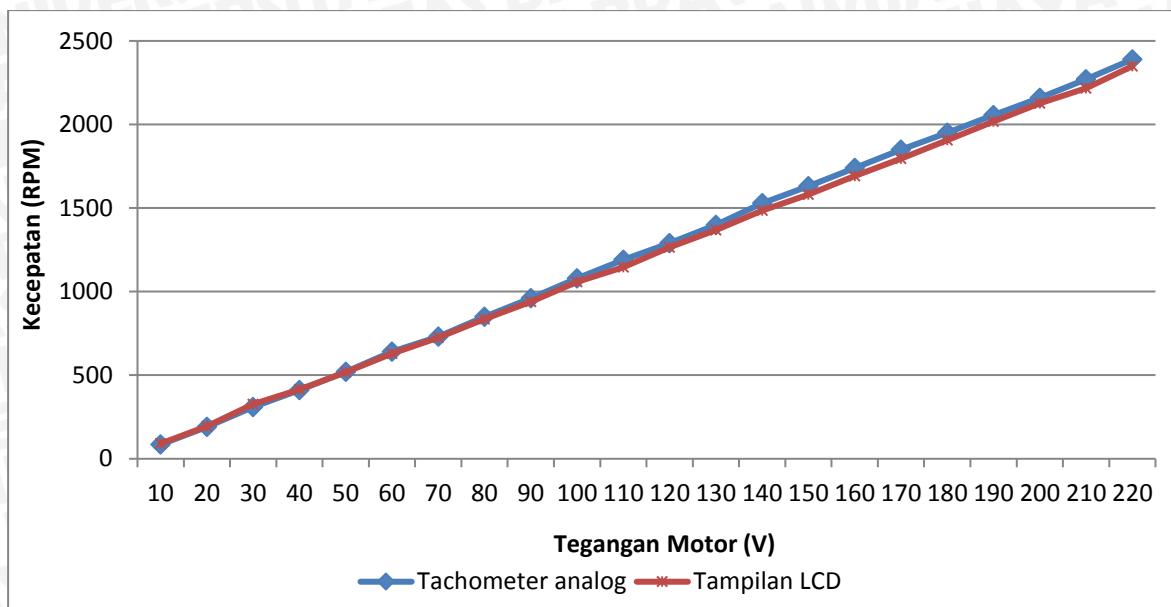


Gambar 4. 18 Grafik pengaruh kopel terhadap motor penggerak

Hasil pengujian sistem keseluruhan ditunjukkan pada tabel 4.11 dan grafik perbandingan antara tachometer yang sudah ada dan hasil rancang bangun ditunjukkan pada gambar 4.19.

Tabel 4. 11 Hasil pengujian sistem keseluruhan

Tegangan Motor (Volt)	Kecepatan (RPM)		Kesalahan Pengujian (%)
	Tachometer Analog	Tampilan LCD	
10	85	90,74	6,75
20	190	194,06	2,14
30	310	326,01	5,16
40	410	415,47	1,33
50	520	518,79	0,23
60	640	629,49	1,64
70	730	725,44	0,62
80	850	836,14	1,63
90	960	939,46	2,14
100	1080	1057,54	2,08
110	1190	1146,11	3,69
120	1290	1264,11	2,01
130	1400	1367,51	2,32
140	1530	1485,29	2,92
150	1630	1581,54	2,97
160	1740	1692,24	2,74
170	1850	1795,56	2,94
180	1950	1906,26	2,24
190	2055	2016,97	1,85
200	2160	2127,67	1,50
210	2270	2216,23	2,37
220	2390	2349,07	1,71
Kesalahan rata-rata (%)			2,41



Gambar 4. 19 Grafik hasil pengujian sistem keseluruhan

4.5.5 Analisis Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian, pembebangan tachometer generator penguat terpisah terhadap motor penggerak utamanya memiliki kesalahan tertinggi sebesar 7,50 % pada saat motor diberi tegangan 20 V dan kesalahan terendah sebesar 0% saat motor diberi tegangan 220V. Kesalahan rata-rata pengaruh kopel tachometer terhadap motor penggerak adalah sebesar 1,61 %.

Dari hasil pengujian sistem secara keseluruhan, hasil rancang bangun tachometer menggunakan generator DC dibandingkan dengan tachometer analog yang ada didapatkan hasil dengan kesalahan rata-rata sebesar 2,41%. Kesalahan terbesar terdapat pada saat motor penggerak diberi tegangan 10V yaitu sebesar 6,75% dan kesalahan terkecil pada saat motor penggerak diberi tegangan 50V dengan nilai kesalahan sebesar 0,23%.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Generator DC yang cocok digunakan adalah generator DC penguat terpisah karena untuk generator DC *shunt* nilai resistansi medan dari mesin DC yang digunakan lebih besar dari resistansi kritis sehingga tegangan keluaran tidak stabil.
2. Tegangan keluaran generator DC penguat terpisah tanpa beban adalah linier, semakin tinggi putaran motor penggerak semakin besar pula tegangan keluaran generator.
3. Konversi yang digunakan untuk mengubah tegangan keluaran generator menjadi kecepatan adalah menggunakan regresi linier dengan kesalahan rata-rata sebesar 2,13%, jika dibandingkan dengan konversi menggunakan rumus tegangan keluaran generator dengan kesalahan rata-rata sebesar 7,18% maka lebih dipilih konversi dengan regresi linier.
4. Tachometer menggunakan generator DC penguat terpisah didapat kesalahan terbesar yaitu 6,75% dan kesalahan terkecil sebesar 0,23%. Kesalahan rata-rata yang dihasilkan adalah sebesar 2,41% jika dibandingkan dengan tachometer analog yang sudah tersedia pada laboratorium mesin elektrik.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian yang akan datang dari hasil penelitian ini sebagai berikut :

1. Algoritma pemrograman perlu pengembangan lebih lanjut agar hasil yang ditampilkan pada LCD tidak terus berubah atau dengan kata lain lebih stabil.
2. Perlu pengembangan lebih lanjut untuk bisa menggunakan generator penguat sendiri seperti generator DC *shunt*.
3. Perlu adanya tambahan pengaman tegangan jika terjadi kelebihan putaran agar tidak merusak Arduino.
4. Perlu adanya pengembangan sistem agar bisa merekam data kecepatan.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 2009. *Arduino Uno*. <http://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>. (Diakses pada tanggal 15 Maret 2016).
- Chapman, Stephen . 2005. *Electric Machinery Fundamentals, 4th Ed.* New York: McGraw-Hill.
- Chapra, Steven C. & Canale Raymond P. Metode Numerik Jilid 1. 1989. Jakarta: Erlangga
- Fitzgerald, A. E., Kingsley, Jr., C., & Umans, S. 2003. *Electric Machinery, 6th Ed.* New York: McGraw-Hill.
- Hart, Daniel W. 2011. *Power Electronics*, New York: McGraw-Hill, Inc.
- Margolis, Michael. 2012. *Arduino Cookbook*. Sebastopol: O'Reilly.
- Mehta. 2002. *Principles of Electrical Machines*. S.Chan & Company LTD.
- Sen, P. C. 1997. *Principles of Electric Machines and Power Electronics, Second Edition.* Canada: John Wiley and Sons, Inc.
- Soemarwanto. 2010. Dasar Konversi Energi Elektrik. Malang: UB Press

UNIVERSITAS BRAWIJAYA





UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN

Lampiran 1. Listing program arduino

```
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

float Ea, n, Vout;

void setup(){ lcd.begin(16, 2);

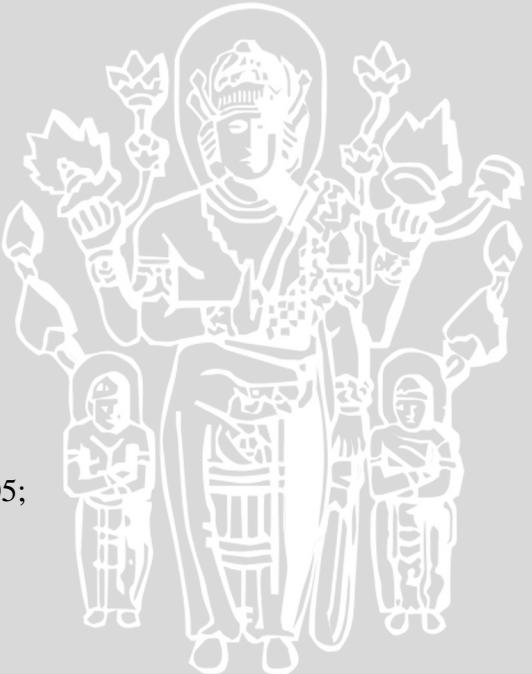
}

void loop(){

lcd.setCursor(4, 0);
lcd.print("Lab. ME");
Ea=analogRead(A0);

Vout=(Ea/204.6)*5;
n =(301.9965*Vout)+39.0805;
lcd.setCursor(1, 1);
lcd.print("n=");
lcd.setCursor(3, 1);
lcd.print(n);

lcd.setCursor(12, 1);
lcd.print("RPM");
delay (1000);
lcd.clear();
}
```



Lampiran 2. Data sheet

1. Karakteristik LM7805

Electrical Characteristics (LM7805)

Refer to the test circuit, $-40^{\circ}\text{C} < T_j < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500 \text{ mA}$, $V_i = 10 \text{ V}$, $C_i = 0.1 \mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_j = +25^{\circ}\text{C}$		4.60	5.00	5.20	V
		$I_O = 5 \text{ mA to } 1 \text{ A}$, $P_O \leq 15 \text{ W}$, $V_i = 7 \text{ V to } 20 \text{ V}$		4.75	5.00	5.25	
Regline	Line Regulation ⁽²⁾	$T_j = +25^{\circ}\text{C}$	$V_i = 7 \text{ V to } 25 \text{ V}$		4.0	100.0	mV
			$V_i = 8 \text{ V to } 12 \text{ V}$		1.6	50.0	
Regload	Load Regulation ⁽²⁾	$T_j = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5 \text{ mA to } 1.5 \text{ A}$		9.0	100.0	mV
			$I_O = 250 \text{ mA to } 750 \text{ mA}$		4.0	50.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_j = +25^{\circ}\text{C}$			5	8	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5 \text{ mA to } 1 \text{ A}$			0.03	0.50	mA
			$V_i = 7 \text{ V to } 25 \text{ V}$		0.30	1.30	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽³⁾	$I_O = 5 \text{ mA}$			-0.8		mV/ $^{\circ}\text{C}$
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10 \text{ Hz to } 100 \text{ kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$			42		μV
RR	Ripple Rejection ⁽³⁾	$f = 120 \text{ Hz}$, $V_i = 8 \text{ V to } 18 \text{ V}$		62	73		dB
V_{DROP}	Dropout Voltage	$T_j = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1 \text{ A}$			2		V
R_O	Output Resistance ⁽³⁾	$f = 1 \text{ kHz}$			15		$\text{m}\Omega$
I_{SC}	Short-Circuit Current	$T_j = +25^{\circ}\text{C}$, $V_i = 35 \text{ V}$			230		mA
I_{PK}	Peak Current ⁽³⁾	$T_j = +25^{\circ}\text{C}$			2.2		A

Notes:

- Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
- These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

R

LM78XX / LM78XXA — 3-Terminal 1 A Positive Voltage Regulator

2. Karakteristik LM7812

Electrical Characteristics (LM7812)

Refer to the test circuit, $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500 \text{ mA}$, $V_I = 19 \text{ V}$, $C_I = 0.33 \mu\text{F}$, $C_O = 0.1 \mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	11.5	12.0	12.5	V
		$I_O = 5 \text{ mA} \text{ to } 1 \text{ A}$, $P_O \leq 15 \text{ W}$, $V_I = 14.5 \text{ V} \text{ to } 27 \text{ V}$	11.4	12.0	12.6	
Regline	Line Regulation ⁽¹²⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 14.5 \text{ V} \text{ to } 30 \text{ V}$	10	240	mV
			$V_I = 18 \text{ V} \text{ to } 22 \text{ V}$	3	120	
Regload	Load Regulation ⁽¹²⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5 \text{ mA} \text{ to } 1.5 \text{ A}$	11	240	mV
			$I_O = 250 \text{ mA} \text{ to } 750 \text{ mA}$	5	120	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$		5.1	8.0	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_Q = 5 \text{ mA} \text{ to } 1 \text{ A}$		0.1	0.5	mA
		$V_I = 14.5 \text{ V} \text{ to } 30 \text{ V}$		0.5	1.0	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽¹³⁾	$I_Q = 5 \text{ mA}$		-1		mV/ $^{\circ}\text{C}$
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10 \text{ Hz} \text{ to } 100 \text{ kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$		76		μV
RR	Ripple Rejection ⁽¹³⁾	$f = 120 \text{ Hz}$, $V_I = 15 \text{ V} \text{ to } 25 \text{ V}$	55	71		dB
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_Q = 1 \text{ A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$		2		V
R_O	Output Resistance ⁽¹³⁾	$f = 1 \text{ kHz}$		18		$\text{m}\Omega$
I_{SC}	Short-Circuit Current	$V_I = 35 \text{ V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$		230		mA
I_{PK}	Peak Current ⁽¹³⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$		2.2		A

Notes:

12. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
13. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

LM78XX / LM78XXX — 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator



3. Aplikasi LM78XX

LM78XX / LM78XXA — 3-Terminal 1 A Positive Voltage Regulator

Typical Applications

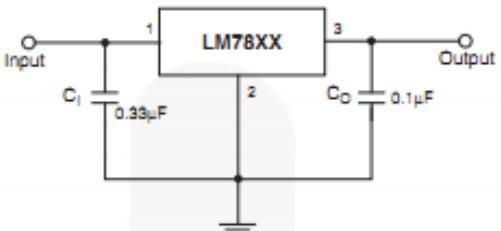


Figure 6. DC Parameters

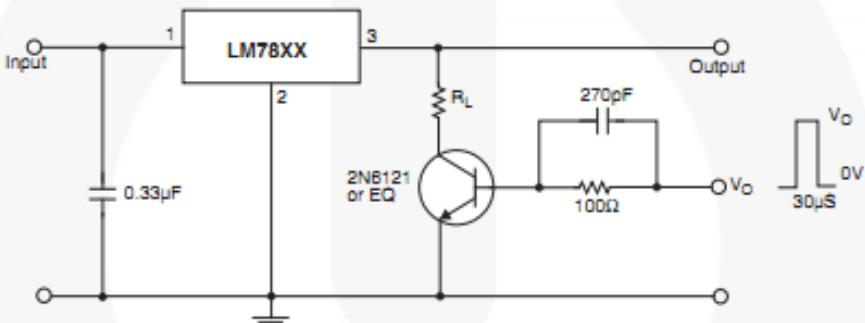


Figure 7. Load Regulation

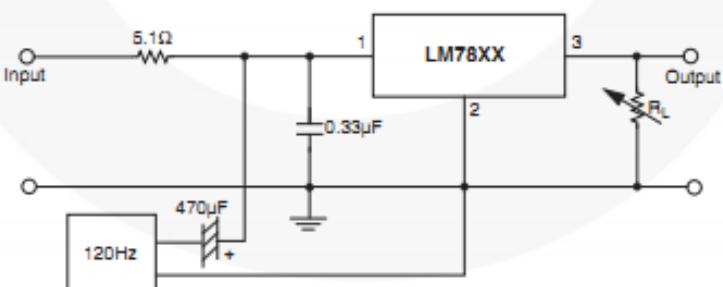


Figure 8. Ripple Rejection



4. Bentuk fisik LM78XX

LM78XX / LM78XXA — 3-Terminal 1 A Positive Voltage Regulator

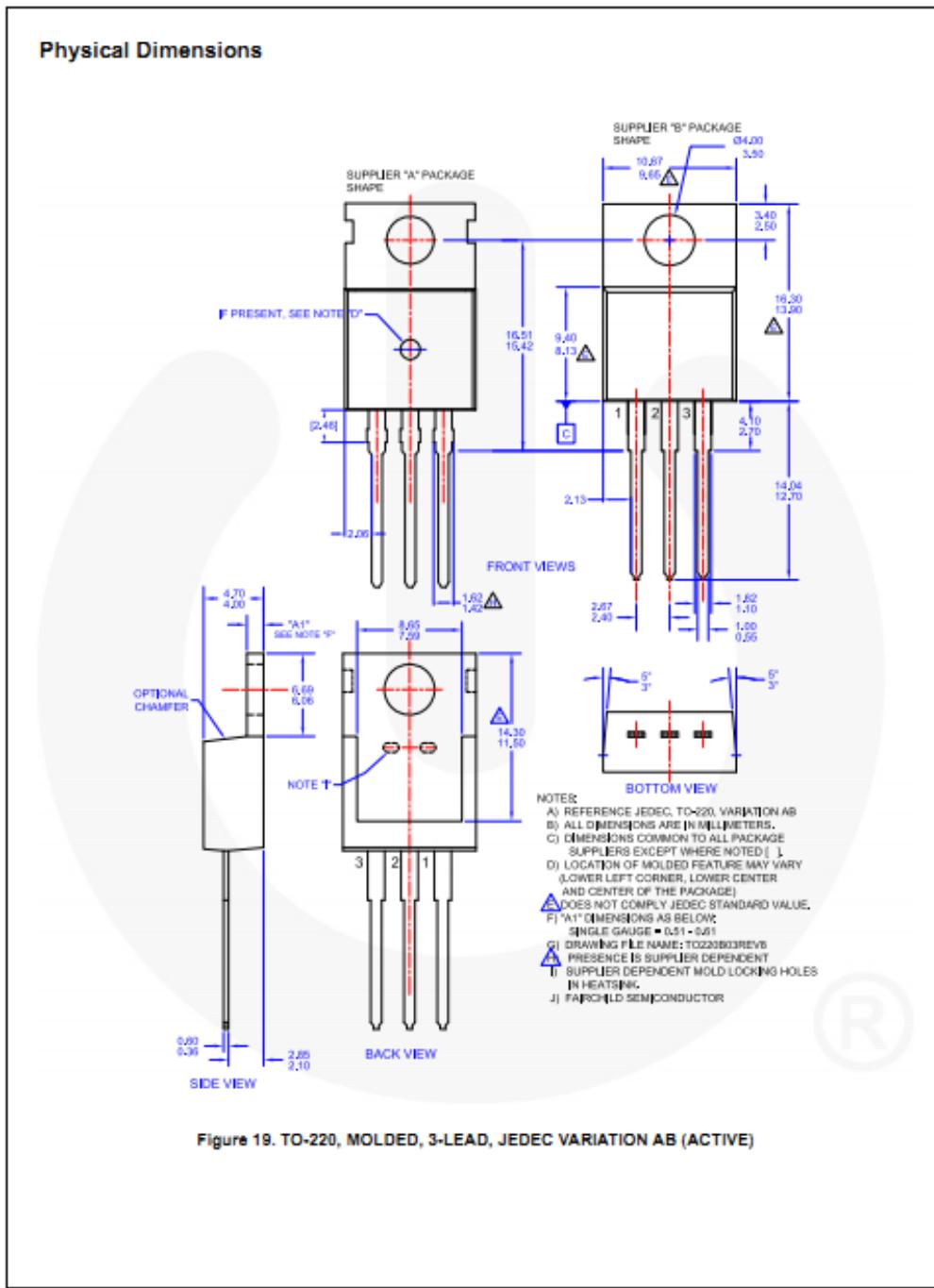


Figure 19. TO-220, MOLDED, 3-LEAD, JEDEC VARIATION AB (ACTIVE)



5. Data sheet Dioda KBP210



KBP206 thru KBP210

Silicon Bridge Rectifier

$V_{RRM} = 50 \text{ V} - 1000 \text{ V}$

$I_F = 2 \text{ A}$

Features

- Types up to 1000 V V_{RRM}
- Ideal for printed circuit board
- Built-in printed circuit board stand-offs
- High temperature soldering guaranteed 265°C/ 10 seconds
- High case dielectric strength
- Plastic package has Underwriters Laboratory Flammability Classification 94V-0

KBP Package

Mechanical Data

Case: Reliable low cost construction

Weight: 0.065 oz, 2.2 g

Mounting position: Any

Terminals: Plated leads, solderable per MIL-STD-202, Method 208



Maximum ratings, at $T_j = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified

Parameter	Symbol	Conditions	KBP206	KBP208	KBP210	Unit
Repetitive peak reverse voltage	V_{RRM}		600	800	1000	V
RMS reverse voltage	V_{RMS}		420	560	700	V
DC blocking voltage	V_{DC}		600	800	1000	V
Continuous forward current	I_F	$T_C \leq 50^\circ\text{C}$	2	2	2	A
Surge non-repetitive forward current, Half Sine Wave	$I_{F,SM}$	$T_C = 25^\circ\text{C}, t_p = 8.3 \text{ ms}$	60	60	60	A
Operating temperature	T_j		-50 to 150	-50 to 150	-50 to 150	°C
Storage temperature	T_{stg}		-50 to 150	-50 to 150	-50 to 150	°C

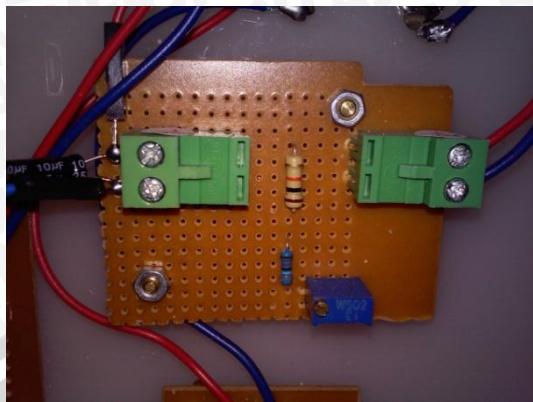
Electrical characteristics, at $T_j = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified

Parameter	Symbol	Conditions	KBP206	KBP208	KBP210	Unit
Diode forward voltage	V_F	$I_F = 2 \text{ A}, T_j = 25^\circ\text{C}$	1.1	1.1	1.1	V
Reverse current	I_R	$V_R = 50 \text{ V}, T_j = 25^\circ\text{C}$ $V_R = 50 \text{ V}, T_j = 100^\circ\text{C}$	10	10	10	μA

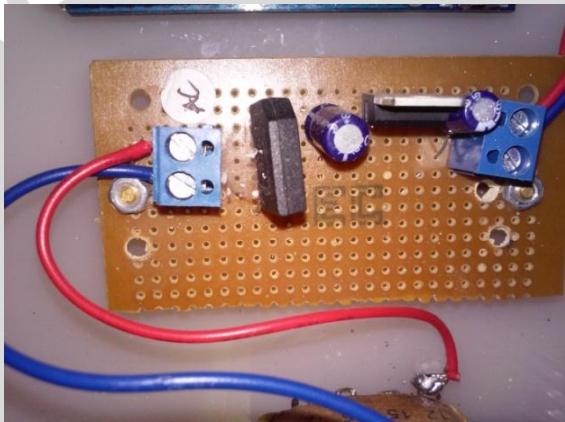
Thermal characteristics

Thermal resistance, junction - case	$R_{\theta JL}$	25.0	25.0	25.0	°C/W
-------------------------------------	-----------------	------	------	------	------

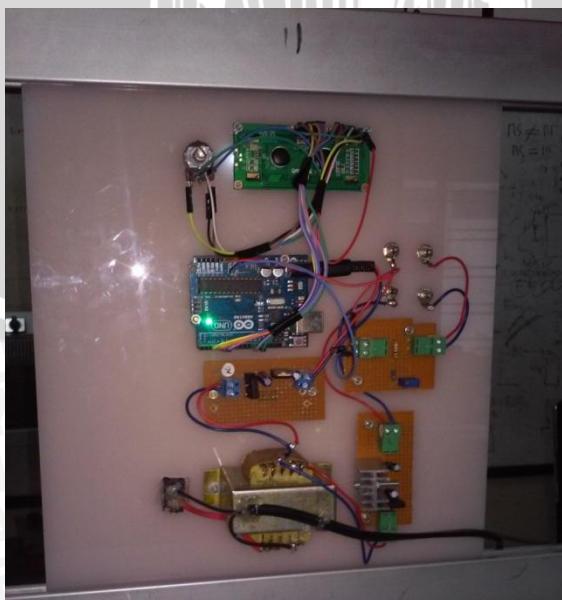


Lampiran 3. Dokumentasi

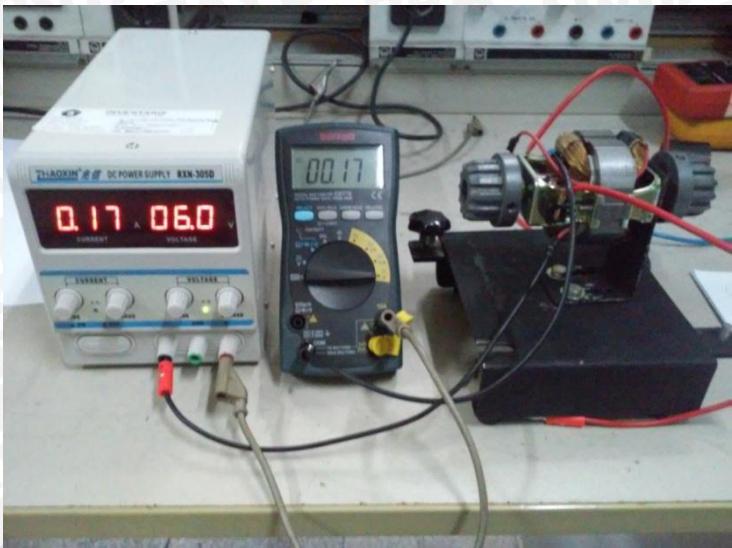
Gambar 1. Rangkaian sensor tegangan



Gambar 2. Rangkaian catu daya



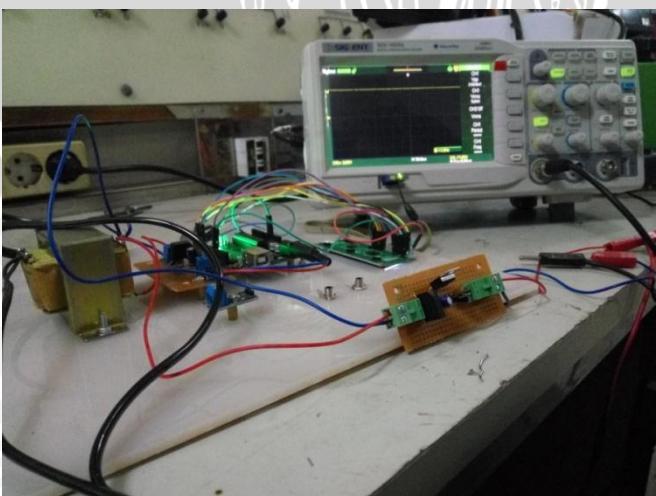
Gambar 3. Rangkaian control unit system



Gambar 4. Pengujian resistansi medan



Gambar 5. Pengujian nilai konstanta



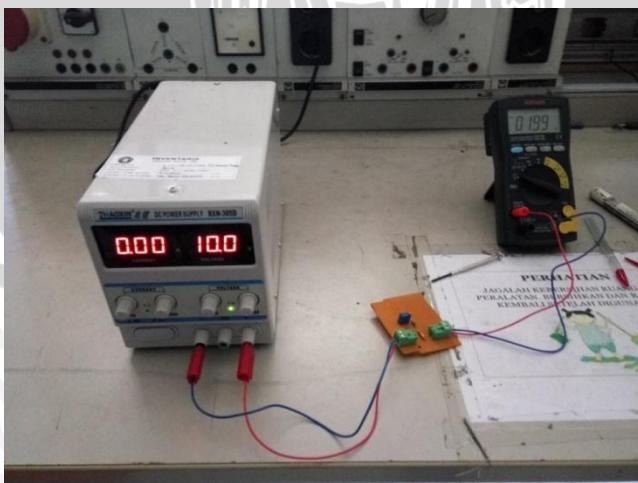
Gambar 6. Pengujian rangkaian catu daya



Gambar 7. Pengujian generator DC penguat terpisah



Gambar 8. Pengujian generator DC *shint*



Gambar 9. Pengujian sensor tegangan



Gambar 10. Pengujian mikrokontroler



Gambar 11. Pengujian sistem keseluruhan



Gambar 12. Hasil pengujian sistem