

## **Kendali Kecepatan Motor DC Penguat Terpisah Berbeban Berbasis Arduino**

Dio Taufiq Arif <sup>\*1</sup>, Aswardi, M.T<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

\* e-mail: [dio1994@gmail.com](mailto:dio1994@gmail.com)

### **Abstrak**

Motor *DC* merupakan salah satu jenis motor yang masih banyak digunakan saat sekarang ini. Motor *DC* sangat membantu didalam dunia perindustrian. Pada motor *DC* dibutuhkan sistem untuk mengoperasikannya, tujuannya mengatur kecepatan motor *DC* agar tetap stabil dan tetap beroperasi dengan kecepatan referensi dengan mengendalikan nilai *PWM*(*Pulse Width Modulation*) pada saat pengoperasiannya. Perancangan alat ini menggunakan *software* dan *hardware*. Adapun komponen *Hardware* diantaranya rangkaian catu daya, *Arduino*, sensor kecepatan, sensor tegangan, sensor arus, *gate drive*, motor *DC* dan *Software* Pemrograman bahasa C. Tahap pengujian yang dilakukan yaitu mengukur output tiap komponen. Jika sudah sesuai persyaratan maka siap dioperasikan. Dari hasil pengujian rangkaian keseluruhan yang dilakukan diberikan setpoint kecepatan 500 rpm yang divariasikan dengan beban minimum 1A hingga maksimum 4A, yang kecepatan sebelum dan sesudah di beri beban tetap sama dengan setpoint, dapat disimpulkan bahwa pengujian kendali motor dc penguat terpisah berbeban telah berhasil.

**Kata Kunci :** Motor *DC*, *Arduino Uno*, *Gatedrive*, *PWM*

### **Abstract**

DC motor is one type of motor that is still widely used today. DC motors are very helpful in the industrial world. In a DC motor, a system is needed to operate it, the goal is to regulate the speed of the DC motor to remain stable and continue to operate at the reference speed by controlling the PWM (*Pulse Width Modulation*) value at the time of operation. The design of this tool uses software and hardware. The Hardware components include a power supply circuit, *Arduino*, speed sensor, voltage sensor, current sensor, gate drive, DC motor and C programming language. The testing phase is carried out which measures the output of each component. If it meets the requirements, it is ready to operate. From the results of the overall series of tests carried out setpoints speed of 500 rpm which varied with a minimum load of 1A to a maximum of 4A, the speed before and after being given the load remains the same as setpoints, it can be concluded that the testing of separately excited DC motor having a load has been successful.

**Keywords:** *DC Motor*, *Arduino Uno*, *Gatedrive*, *PWM*

## **PENDAHULUAN**

Motor *DC* sangat banyak digunakan, ada berbagai macam motor *DC* banyak digunakan terutama untuk dunia perindustrian, ada berbagai macam alasan motor *DC* sangat banyak digunakan. Salah satunya sistem tenaga listrik *DC* masih umum digunakan pada industri dan meskipun tidak ada sistem tenaga listrik *DC*,rangkaiannya penyearah dapat digunakan untuk menghasilkan sumber listrik *DC* yang diinginkan. Motor *DC* digunakan karena kebutuhan akan variasi kecepatan motor yang lebar. [1]. Sistem pengontrolan kecepatan motor *DC* sekarang ini banyak dilakukan. Karena dalam pemakaian motor *DC* Kecepatan motor *DC* sering tidak stabil akibat gangguan dari luar maupun perubahan parameter dari fabrikasinya sehingga perlu dilakukan rancangan kontroler. Motor *DC* itu sendiri memiliki beberapa metode untuk mengatur kecepatannya. Beberapa penelitian telah dilakukan dalam hal mengendalikan motor *DC* itu sendiri. Dari metode *Fuzzy logic*, *PID* dan *PWM*[2]. Dalam pengoperasian motor *DC* tersebut terdapat acuan yang meliputi kecepatan motor, tegangan

keluaran motor dan arus keluaran motor. Beberapa acuan tersebut memiliki nilai yang sangat penting dalam proses pengontrolan motor *DC* tersebut. Dengan mengukur nilai tersebut pengguna bisa mengetahui apa yang dibutuhkan dalam penggunaan motor *DC* tersebut[3].

Dengan seiringnya perkembangan zaman dan kemajuan teknologi, proses mengukur atau mengetahui parameter jadi lebih gampang, misalkan pengguna melihat langsung motor *DC* tersebut dengan menggunakan alat ukur terlebih dahulu, Sekarang pengguna bisa lebih gampang mengetahuinya dengan cara membuat sebuah program dengan menggunakan *Arduino IDE* yang hasilnya akan keluar dalam satu lcd untuk melihat proses pengukuran motor *DC* tersebut[2].

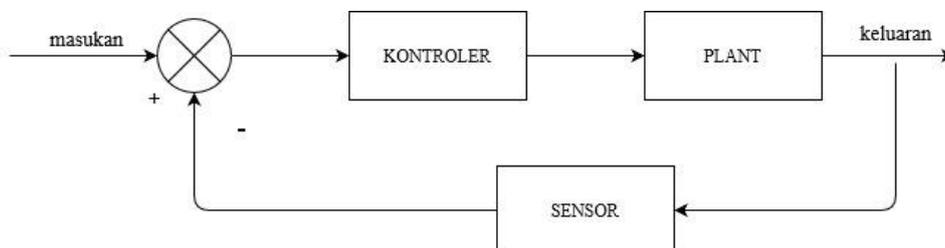
Berdasarkan penelitian sebelumnya maka penulis mencoba merancang sistem kendali kecepatan motor dc penguat terpisah berbeban berbasis arduino, dimana mikrokontroler arduino sebagai *controller* yang digunakan sebagai pembangkit sinyal *Pulse width Modulation I* (PWM) yang dapat mengatur kecepatan putaran motor *DC* penguat terpisah berbeban.

## METODE

Dalam proses pembuatan alat ini digunakan beberapa rujukan pada proses pembuatan alat agar dapat berfungsi untuk memonitoring proses pengukuran motor *DC*.

### A. Loop tertutup

Loop tertutup merupakan sistem kontrol dimana sinyal output nya memberikan pengaruh pada sistem pengontrolan. Loop tertutup juga adalah sistem kontrol yang memiliki *feed back*. Sinyal kesalahan penggerak, yang merupakan selisih antara sinyal masukan dan sinyal *feed back*. Di umpankan ke kontroler untuk memperkecil error yang membuat agar output sistem mendekati tujuan yang diinginkan. Dengan istilah lain “loop tertutup” berarti menggunakan pengaruh *feed back* untuk mengurangi kesalahan sistem[4].

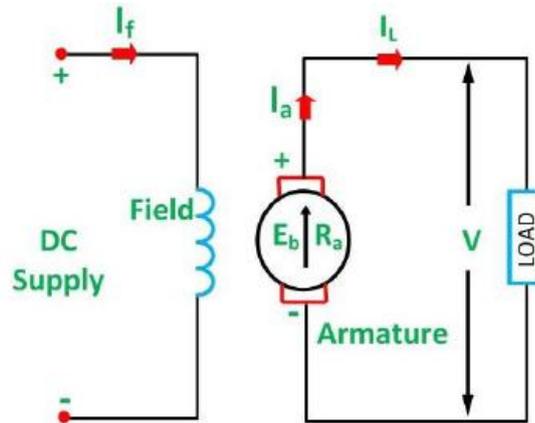


Gambar 1. Blok diagram loop tertutup [5]

### B. Motor *DC*

Motor listrik yaitu mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Kebanyakan motor listrik beroperasi karena interaksi medan magnet dan konduktor, pembawa arus untuk menghasilkan putaran motor. Motor *DC* sendiri memiliki komponen penyusun seperti *rotor* dan *stator*. [6]. *Rotor* terdiri dari as, inti, kumparan jangkar dan komutator. Motor *DC* yang dipakai untuk pembuatan alat ini adalah jenis motor *DC* penguatan terpisah. Jenis motor *DC* penguatan terpisah mempunyai kumparan medan yang disuplai oleh sumber lain yang bebas. Motor *DC* penguatan terpisah, kinerja dari motor ini yaitu menambah kemampuan daya dan kecepatan karena memiliki *fluks* medan yang dihasilkan oleh kumparan medan, yang terletak secara terpisah dan mempunyai sumber [7].

Setelah melihat bahwa kecepatan tanpa beban motor berbanding lurus Untuk tegangan jangkar, kita perlu mengeksplorasi bagaimana kecepatannya akan bervariasi ketika kita mengubah beban pada poros. Untuk menghitung adalah menentukan torsi yang diperlukan menggerakkan beban pada kecepatan tertentu [8].



Gambar2. Rangkaian Simbolik Motor DC Penguat terpisah [9]

Bentuk umum persamaan tegangan pada motor arus searah ini adalah :

$$Vt = Ea + Ia \cdot Ra \dots\dots\dots (1)$$

$$Ea = C \cdot n \cdot \phi \dots\dots\dots (2)$$

$$Vf = If \cdot Rf = Vt \dots\dots\dots (3)$$

Torsi elektromagnetik jangkar motor adalah :

$$Ta = C \cdot Ia \cdot \phi \dots\dots\dots (4)$$

Torsi poros motor adalah pembagian dari daya masukan dengan putaran dalam radian perdetik.

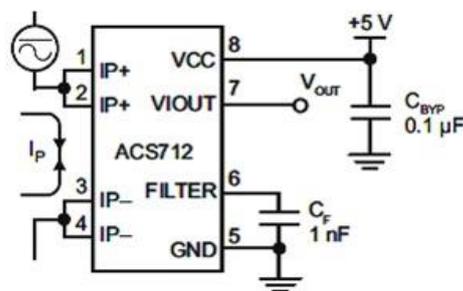
$$Tm = \frac{P}{2\pi} \dots\dots\dots (5)$$

Rumus kecepatan motor adalah:

$$N = \frac{V - Ia Ra}{K\phi} \dots\dots\dots (6)$$

**C. Sensor Arus**

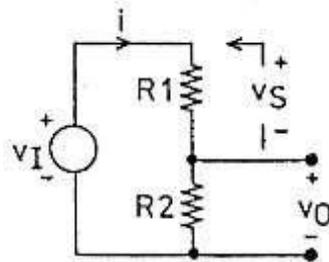
Sensor ACS712 merupakan sensor pendeteksi arus yang paling sering digunakan untuk mengerjakan project yang diinginkan dan berhubungan dengan pembacaan arus. Penggunaan sensor arus ACS712 ini Kebanyakan memiliki kekurangan yakni nilai arus yang di dapatkan dari sensor tidak linear sehingga terkadang kita membutuhkan tingkat linear yang lebih tinggi. Sebelum membahas lebih lanjut, akan di jelaskan terlebih dahulu tentang sensor arus ACS712. ACS712 ini memiliki tipe variasi sesuai dengan arus maksimal yakni 5A, 20A, 30A. ACS712 ini menggunakan VCC 5V. Berikut rangkaian sensor arus pada gambar 3.



Gambar 3. Sensor Arus [10]

**D. Sensor Tegangan**

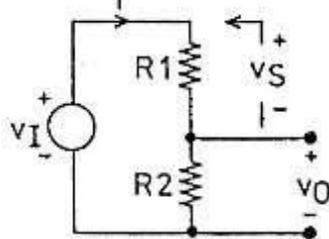
Tegangan merupakan parameter dasar baik analog maupun digital. Tegangan ini merupakan besaran analog yang dapat diolah, diproses atau dikonversi dalam bentuk lainya sedangkan dalam dunia digital tegangan akan dikonversi dengan ADC (*analog to digital converter*). Sensor adalah transduser atau pengubah parameter menjadi besaran analog representasinya, biasanya apapun tipe sensor akan dikonversi ke tegangan agar dapat diolah untuk proses selanjutnya. Demikian juga dengan arduino. Untuk membaca sensor dengan output tegangan analog, arduino menggunakan pin analog A0-A5 terhubung dengan sebuah ADC dengan resolusi 10 bit yang akan menghasilkan angka digital 0-1023 sebagai representasi tegangan 0-5V. Tegangan analog yang dapat diterima pin analog arduino maksimal adalah 5VDC. Berikut rangkaian sensor pada gambar 4.



Gambar 4. Sensor Tegangan [10]

**E. Sensor Kecepatan**

Sensor kecepatan ini adalah digunakan untuk menampilkan jumlah putaran motor listrik per menit. Program utama terletak pada IC mikrokontroler yang menggunakan program untuk perhitungan putaran motor listrik. Hal tersebut dapat dilakukan dengan meletakkan sensor ke antara piringan yang dibuat di sumbu motor yang sedang berputar. Kemudian data yang dihasilkan oleh sensor diteruskan ke Arduino Uno melalui pin ADC. Setelah data diterima oleh Arduino uno Maka diproses lebih lanjut untuk mendapatkan nilai putaran motor listrik yang ditampilkan oleh Tabel dengan satuan RPM atau jumlah putaran per menit[11]. Berikut rangkaian sensor pada gambar 5.



Gambar 5 . Sensor Kecepatan [10]

**F. PWM (Pulse Width Modulation)**

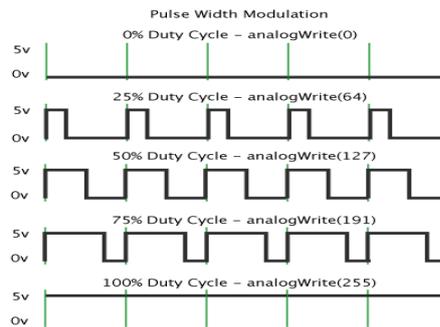
PWM adalah suatu metode untuk mendapatkan output tegangan bervariasi pada mikrokontroler. PWM dibentuk dengan membuat output gelombang kotak pada frekuensi tinggi. Tegangan output dapat diatur dengan merubah lebar pulsa *high* (duty cycle).[12]

Perioda =  $T_{on} + T_{off}$ ..... (7)

Frekuensi =  $1/\text{periode}$ ..... (8)

Duty Cycle =  $\frac{T_{on}}{T_{on}+T_{off}}$ ..... (9)

Berikut adalah tampilan gelombang PWM pada gambar 6.



**Gambar 6. Sinyal PWM**

Pada gambar 6 di jelaskan bentuk gelombang sinyal *PWM* saat *duty cycle* 0% hingga *duty cycle* 100 %.

### G. Gate drive

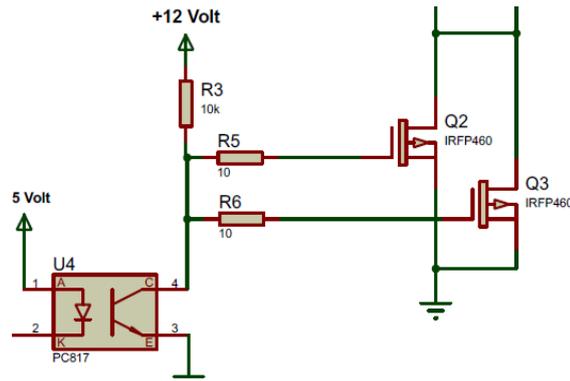
*Gate drive* adalah rangkaian untuk meneruskan sinyal kontrol dari keluaran mikrokontroler. *DC drive* memiliki keuntungan diantaranya:

1. Metode pengendalian kecepatan sederhana dan lebih mudah.
2. Sistem pengereman dapat diterapkan dengan mudah.
3. Efisiensi yang lebih tinggi.

Pada *DC gate drive* ada bagian-bagian yang membuat *DC gate drive* dapat bekerja secara efektif dan parameter-parameter pada motor *DC* dapat secara akurat ditentukan, diantaranya:

1. *Power converter* pengendali motor *DC* yang dipakai adalah *DC-DC Converter*. *DC-DC Converter* adalah sebuah rangkaian yang mengkonversi tegangan *DC* menjadi *DC*.
2. *Controllers* merupakan bagian yang mengatur interaksi antara beban dan karakteristik motor. *Controller* mengatur masukan pada konverter daya. Input yang diatur diantaranya:
  - a. torsi, fluks, *speed* dan posisi perintah
  - b. *rate* variasi, untuk memfasilitasi *start* awal dan menjaga integritas beban mekanik.
  - c. torsi, fluks, *speed* yang diukur dan posisi dari *feedback*
  - d. nilai batas dari arus, torsi
  - e. temperatur.

Pada alat ini *Gate drive* digunakan untuk mengontrol atau sebagai switching putaran motor dengan menggunakan 2 buah transistor untuk switching dari putaran motor tersebut. Transistor yang digunakan yaitu irfp460 dan menggunakan *optocoupler* pc817 Rangkaian ini juga berfungsi sebagai isolasi rangkaian kontrol dan rangkaian daya[13].

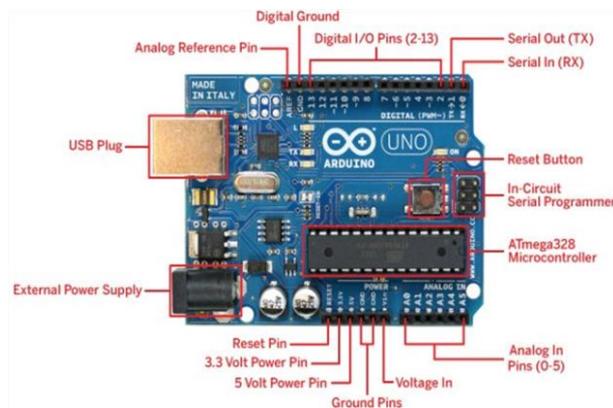


Gambar 7. Rangkaian Gate drive

Pada gambar 7 rangkaian gate drive alat ini memakai 1 buah *octocoupler* pc 817, 3 buah resistor 10k, dan 2 buah transistor irfp460.

### H. Mikrokontroller Atmega 328

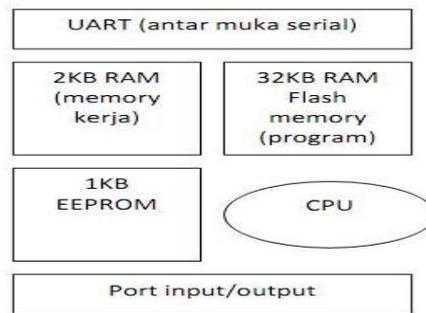
Mikrokontroller dapat dikatakan sebuah sistem komputer yang seluruh atau sebagian besar elemennya dikemas dalam satu chip sehingga sering disebut sebagai single chip mikrokomputer. Tidak seperti sistem komputer yang mampu menangani berbagai macam program aplikasi, mikrokontroller hanya dapat digunakan untuk suatu aplikasi saja [14]. Mikrokontroller ini mempunyai pin analog dan digital, yaitu 6 pin analog dan 14 pin digital yang dapat diprogram dengan aplikasi Arduino IDE yang disambung melalui kabel *USB*. Mikrokontroller ini dilengkapi dengan input dan output digital analog yang dapat dihubungkan ke sirkuit lainnya. Berikut gambar arduino pada gambar 8 dibawah.



Gambar 8. Arduino Uno

[14]

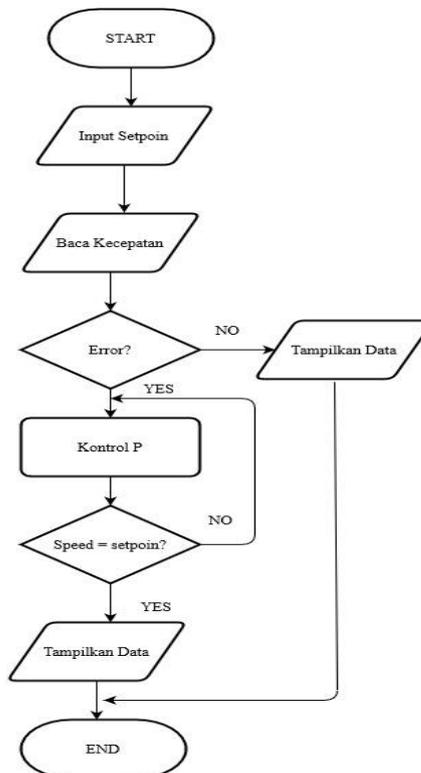
Setiap pin digital dapat digunakan sebagai input dan output dan beroperasi pada tegangan 5V serta mempunyai flash memori 32 KB digunakan untuk *bootloader*, 2 KB dengan 0.5 KB digunakan *bootloader*, 2 KB RAM dan 1 KB EEPROM, berikut blok memori arduino uno pada gambar 9 dibawah.



**Gambar 9. Diagram Blok Memori Arduino Uno**  
[14]

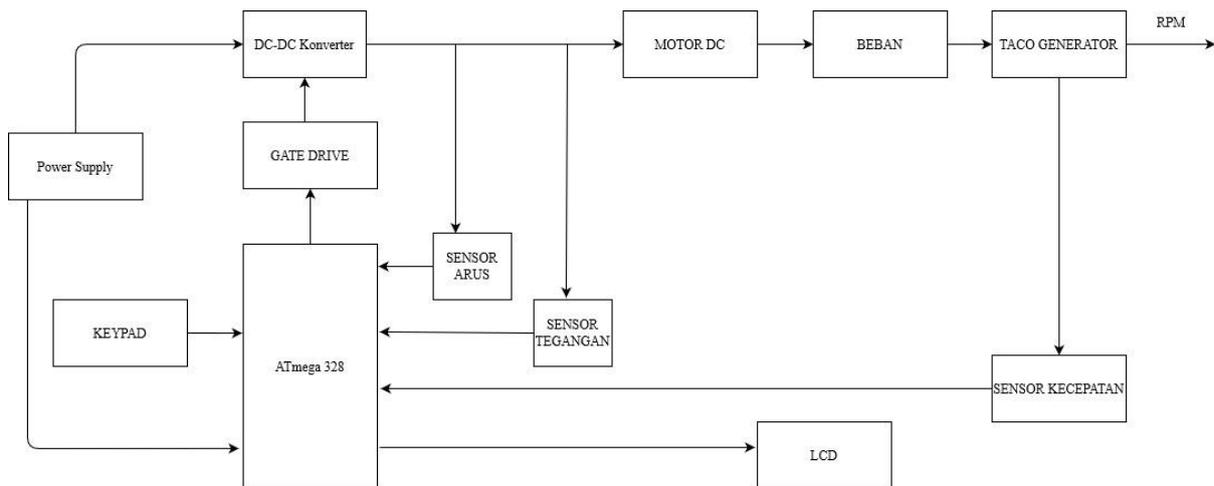
### I. Flowchart dan Diagram blok

Flowchart merupakan diagram alir yang mengilustrasikan alur atau proses kerja dari suatu sistem, flowchart berguna supaya dapat memahami alur pada alat pada gambar 10 dapat dijelaskan proses sistem.



**Gambar 10. Flowchart kerja Sistem**

Pada gambar 10 menjelaskan diagram kerja alat secara keseluruhan Alat ini akan bekerja dengan sumber tegangan 220VDC yaitu dengan masukan setpoint kecepatan sehingga motor berputar, dengan membaca nilai kecepatan motor yang ditampilkan di lcd, arus bandingkan referensi dengan yang terukur sehingga mendapatkan kecepatan terukur sama dengan kecepatan referensi.



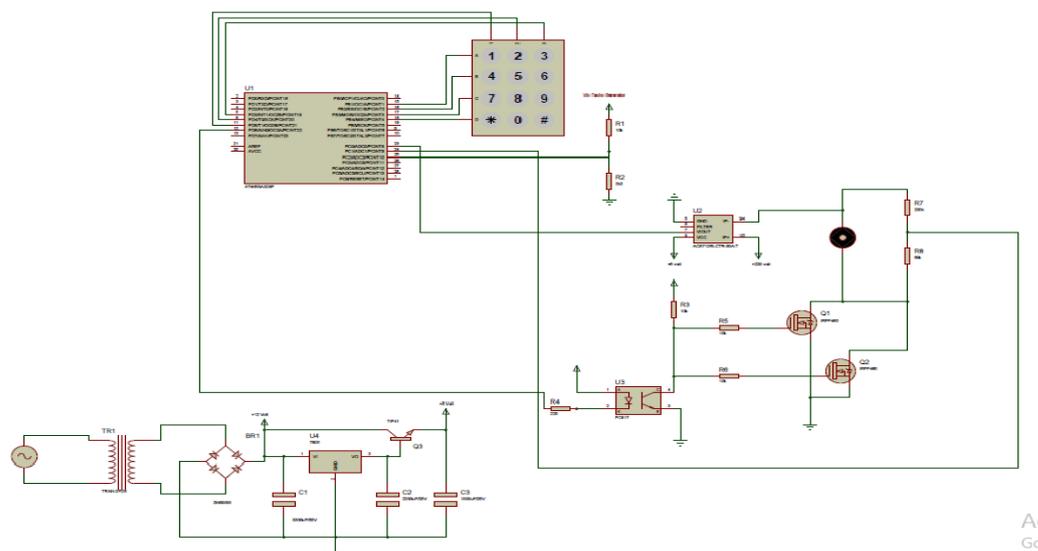
**Gambar 11. Diagram Kerja Alat secara keseluruhan**

Pada gambar 11 Perancangan sistem dalam alat ini merupakan proses perencanaan sebelum melakukan pembuatan alat yang mampu mengontrol motor DC dengan metode *close loop*, dimana motor DC dikontrol dengan *close loop* dengan kontroler Arduino Uno. Blok diagram ini menjelaskan cara sistem kerja alat yang bagaimana setpoint dari potensio yang diolah oleh arduino uno dan di switching oleh *gatedrive* dan masuk ke input motor dan dibaca oleh sensor arus, sensor tegangan dan sensor kecepatan yang diolah oleh *arduino* uno dan ditampilkan di lcd.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Rangkaian Keseluruhan

Rangkaian keseluruhan merupakan salah satu bagian terpenting dalam sebuah perancangan komponen elektronik, dengan adanya diagram blok dapat memberikan kemudahan dalam mengetahui prinsip kerja sebuah alat secara keseluruhan dan juga memberikan kemudahan dalam mengetahui sebuah kesalahan pada alat dengan melakukan pengecekan pada rangkaian.

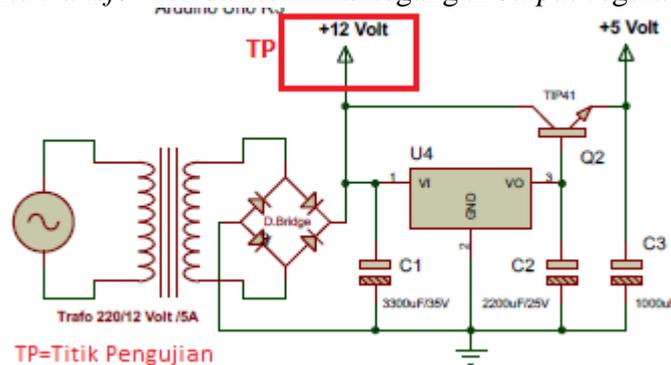


**Gambar 12. Rangkaian Keseluruhan**

Pada gambar 12 rangkaian keseluruhan alat ini memakai 1 buah keypad, 1 sensor arus, 2 buah sensor pembagi tegangan, yang masing-masing dipakai sebagai sensor tegangan dan sensor kecepatan, 2 buah transistor irfp460, 1 octocoupler pc817, dan 3 resistor 10k.

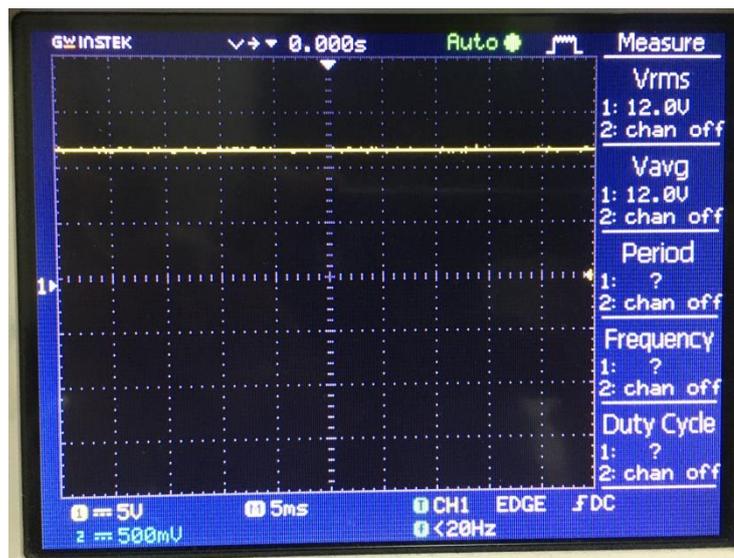
**B. Pengujian Catu Daya 12 VDC**

Pengujiannya dapat dilakukan untuk dapat mengetahui apakah rangkaian dapat bekerja dengan baik. Supaya dapat mensuplai *arduino*, *gatedrive* dan *lcd*. Pengujian dapat dilakukan dengan menggunakan alat ukur multimeter. Pengujian dapat dilakukan pada komponen utama yaitu *transformer* dan terminal tegangan *output* regulator.



**Gambar 13. Titik pengujian catu daya 12V**

Pada gambar 13 rangkaian catu daya alat ini memakai 1 trafo stepdown, 3 kapasitor, 1 dioda bridge, 1 transistor, dan 1 *power supply regulator*.



**Gambar 14. Pengujian CatuDaya 12 VDC**

Pada gambar 14 adalah hasil pembacaan dengan alat ukur *oscilloscope* pada output 12 V catu daya yang terlihat pada gambar 13.

**C. Hasil pengujian dan analisa perangkat**

Pengujian alat ini dilakukan untuk membandingkan referensi dengan yang terukur pada kecepatan motor *DC* tersebut.

**Tabel 1. Pengujian Sensor kecepatan**

| Set RPM | RPM Terukur | Selisih | Error |
|---------|-------------|---------|-------|
| 500     | 530         | 30      | 5.6 % |

Dari hasil pengujian yang didapat motor *DC* menggunakan beban mekanik dengan variasi beban minimum 1A dan maksimum 4A.

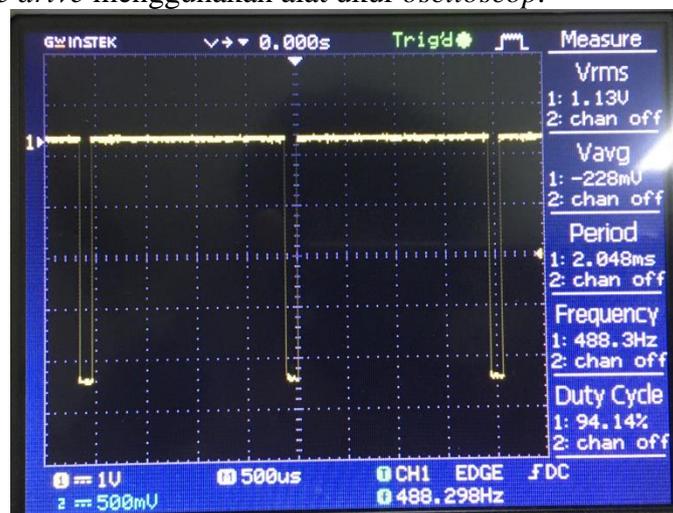
Pengujian berbeban Setpoint kecepatan 500 rpm

**Tabel 2. Hasil Pengujian Motor DC Berbeban**

| I beban | Set RPM | Vin  | I motor | Torsi | RPM Terukur |
|---------|---------|------|---------|-------|-------------|
| 1 A     | 500     | 150V | 2 A     | 2     | 530         |
| 1.5A    | 500     | 150V | 2.5A    | 2.5   | 530         |
| 2 A     | 500     | 150V | 3 A     | 3     | 530         |
| 2.5A    | 500     | 150V | 3.5A    | 4     | 530         |
| 3 A     | 500     | 150V | 4.2A    | 4.5   | 530         |
| 3.5A    | 500     | 150V | 4.8A    | 5     | 530         |
| 4 A     | 500     | 150V | 5 A     | 5.5   | 530         |

#### D. Gate drive

Nilai pembacaan *gate drive* menggunakan alat ukur *osciloscop*.



**Gambar 15 . Pengujian Gate drive**

**Tabel 3. Hasil pengujian Output gate drive**

| Vpp   | Vmax  | Vrms  | Freq     | Duty Cycle |
|-------|-------|-------|----------|------------|
| 12.0V | 12.2V | 11.2V | 488.3 Hz | 94.14%     |

Gambar 15 menunjukkan nilai pembacaan *gate drive* pada saat *duty cycle* maksimum, pada saat pengujian nilai maksimum *duty cycle* yang di dapat mencapai 94.14%.

#### PENUTUP

Sebelumnya telah dilakukan perancangan sistem kendali kecepatan motor *DC* penguat terpisah berbeban berbasis arduino. Maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut yaitu sebagai referensi untuk mengukur nilai pengontrolan *motor DC*. Berdasarkan perancangan

---

sistem kendali kecepatan motor DC penguat terpisah berbeban berbasis arduino, masih banyak terdapat kekurangan pada alat. Untuk itu penulis memberikan beberapa saran dan masukan agar kedepannya alat ini bisa lebih baik lagi. Berikut saran dan tambahan dari penulis yang dapat dikembangkan Pada *software* penulis juga menyarankan ditambahkan *interface* pada untuk melihat nilai ukur, Pengukuran kecepatan kurang presisi sehingga hasil yang di dapat kurang maksimal, Untuk pengukuran arus kurang baik karena sensor memiliki kelemahan jika mengukur arus kecil karena itu sebaiknya lakukan kalibrasi pada bagian program untuk hasil yang lebih baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Wahid Ibrahim, T. Wahyu Widodo, and T. Wahyu Supardi, "Sistem Kontrol Torsi pada Motor DC," *IJEIS (Indonesian J. Electron. Instrum. Syst.)*, 2016, doi: 10.22146/ijeis.10775.
- [2] D. Setiawan, "Sistem Kontrol Motor Dc Menggunakan Pwm Arduino Berbasis Android System," *J. Sains, Teknol. dan Ind.*, 2017.
- [3] Q. Hidayati, "Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan Menggunakan Mikrokontroler Atmega 8535," *JIP ( J. Ilm. Politek. )*, 2012.
- [4] Thalib, "Sistem Kontrol Loop Terbuka dan Tertutup," *Jte.* 2014.
- [5] I. Husnaini, *Sistem Kendali*. Padang: Teknik Elektro Universitas Negeri Padang, 2014.
- [6] S. Ayasun and G. Karbeyaz, "DC motor speed control methods using MATLAB/Simulink and their integration into undergraduate electric machinery courses," *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 2008, doi: 10.1002/cae.20151.
- [7] M. Asbi, S. Subiyanto, and Y. Primadiyono, "Simulasi Kendali Motor DC Penguat Terpisah Menggunakan Kendali Fuzzy-FOPID," *Jetri J. Ilm. Tek. Elektro*, 2019, doi: 10.25105/jetri.v17i1.4109.
- [8] W. WALUYO, A. FITRIANSYAH, and S. SYAHRIAL, "Analisis Penalaan Kontrol PID pada Simulasi Kendali Kecepatan Putaran Motor DC Berbeban menggunakan Metode Heuristik," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, 2013, doi: 10.26760/elkomika.v1i2.79.
- [9] A. Aswardi and D. Tri Putra Yanto, *Mesin Arus Searah*. Padang: CV IRDH, 2019.
- [10] I. Abubakar, S. N. Khalid, M. W. Mustafa, H. Shareef, and M. Mustapha, "Calibration of ZMPT101B voltage sensor module using polynomial regression for accurate load monitoring," *ARPN J. Eng. Appl. Sci.*, 2017.
- [11] N. Matsui, "Sensorless PM brushless DC motor drives," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 1996, doi: 10.1109/41.491354.
- [12] M. F. Rahman, D. Patterson, A. Cheok, and R. Betz, "Motor drives," in *Power Electronics Handbook*, 2011.
- [13] H. Zhu, D. Wang, T. Zhang, and K. Huang, "Design on a DC motor speed control," in *2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, ICICTA 2010*, 2010, doi: 10.1109/ICICTA.2010.795.
- [14] S. Saputra and A. Aswardi, "Rancang Bangun Absensi Elektronik Berbasis Mikrokontrolller Atmega328," *INVOTEK J. Inov. Vokasional dan Teknol.*, 2018, doi: 10.24036/invotek.v18i1.247.

#### Biodata Penulis

**Dio Taufiq Arif**, lahir di Padang Sibusuk, 16 Februari 1997. Sedang menempuh jenjang sarjana pada Program Studi Teknik Elektro Industri di jurusan Teknik Elektro FT UNP.<sup>[1]</sup>

**Aswardi**, dilahirkan di Kubang Putih, 21 Februari 1959. Menyelesaikan studi S1 di Jurusan Pendidikan Kejuruan IKIP Padang tahun 1983. Pendidikan S2 Jurusan Teknik Elektro di Institut Teknologi Bandung (ITB) tahun 1999. Sekarang menjadi staf pengajar di Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Padang.<sup>[2]</sup>