

RANCANG BANGUN *PULSE WIDTH MODULATION (PWM)* SEBAGAI PENGATUR KECEPATAN MOTOR DC BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO

**Rifdian I.S
Hartono**

Program Studi Teknik Listrik Bandar Udara
Politeknik Penerbangan Surabaya
Email : rifdian.anto@gmail.com

ABSTRAK

Pulse Width Modulation (PWM) sebagai pengatur kecepatan motor DC telah digunakan secara luas di dunia industri. Kecepatan putar motor dikontrol dengan mengatur *duty cycle* PWM yang dibangkitkan oleh mikrokontroler arduino. Pada penelitian ini pengaturan nilai PWM dilakukan melalui program (*sketch*) ke arduino uno. Output dari PWM dihubungkan pada arduino melalui pin output analog. Dengan pengamatan menggunakan osiloskop dapat diketahui bahwa perubahan nilai ton dan toff menentukan nilai RPM dari motor DC yang dikontrol. Sehingga dengan menggunakan nilai PWM yang berbeda, variasi kecepatan motor DC juga berubah-ubah. Nilai PWM yang digunakan yaitu kelipatan 10 dari 25 hingga 255. Diperoleh hasil pengamatan berupa Ton dan Toff yang tertera pada osiloskop dan hasil pengamatan tersebut diolah untuk mengetahui *duty cycle* yang kemudian dibandingkan dengan PWM dan RPM nya. Sehingga dapat diketahui bahwa semakin besar nilai PWM maka RPM motor DC juga akan semakin besar, dan semakin besar nilai PWM yang diberikan, maka nilai *duty cycle* yang dihasilkan juga akan semakin besar.

Kata-kata kunci : *arduino uno, duty cycle, pulse width modulation, rpm.*

PENDAHULUAN

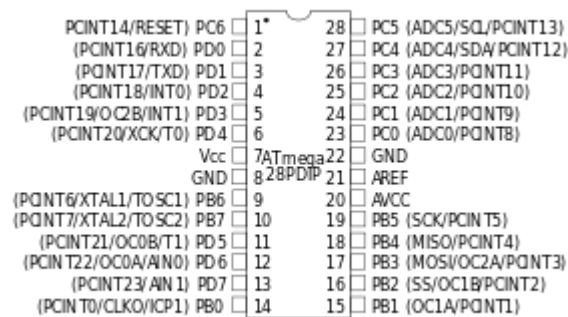
Motor *Direct Current* (DC) adalah penggerak yang sering digunakan dalam teknologi kontrol baik industri maupun rumah tangga. Motor DC memiliki respon yang cepat, namun masih memiliki *error steady state*. Oleh karena itu dibutuhkan suatu kontroler yang tepat dan sesuai dengan plant sistem. Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID) adalah kontrol aksi yang memiliki respon cepat, sehingga kontrol aksi ini sesuai jika digunakan untuk mengontrol kecepatan motor DC.

Semua aspek kehidupan manusia tidak terlepas dari keberadaan teknologi saat ini. Perkembangan teknologi saat ini sangat cepat dan bagus. Berbagai upaya dilakukan untuk membuat suatu teknologi dapat bekerja sesuai dengan kebutuhan dan fungsinya. Sehingga dibuat perangkat pengendali dengan ukuran yang kecil akan tetapi memiliki kemampuan komputasi, kecepatan dan keandalan serta efisiensi daya yang tinggi. Salah satu sistem kendali kecepatan motor dc adalah mengontrol kecepatan motor dc sesuai dengan perintah yang diberikan. Untuk mengatasi masalah tersebut maka dibuatlah kendali motor dc menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM) yang nantinya dari penggunaan PWM tersebut dapat diketahui pengaruhnya terhadap kecepatan motor yang digunakan.

Mikrokontroler adalah sebuah chip yang berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik dan umumnya dapat menyimpan program didalamnya. Mikrokontroler adalah sebuah sistem mikroprosesor dimana didalamnya sudah terdapat CPU, *Read Only Memory* (ROM), *Random Access Memory* (RAM), *Input-Output*, *timer*, *interrupt*, *Clock* dan peralatan internal lainnya yang sudah saling terhubung dan terorganisasi dengan baik dalam satu chip yang siap dipakai.

ATmega328 memberikan beberapa fitur diantaranya 8 Kb system programmable flash dengan kemampuan read while write, 1 KB EEPROM, 2 KB SRAM, 8 Kb system programmable flash dengan kemampuan read while write, 23 general purpose I/O, 32

register serba guna, 3 buah timer/counter, Interrupt internal maupun eksternal, serial untuk pemrograman dengan menggunakan USART, peripheral interface (SPI), two wire interface (I2C), 6 port PWM (Pulse Width Modulation), 6 port 10 bit ADC dan Watchdog Timer dengan osilator internal. Mikrokontroler merupakan versi mikro dari sebuah computer karena mengandung beberapa peripheral yang langsung bisa dimanfaatkan. Misalkan port parallel, port serial, komparator, konversi digital ke analog, konversi analog ke digital dan lain-lain. Mikrokontroler memerlukan komponen eksternal yang disebut dengan system minimum. Untuk membuat system minimal dibutuhkan system clock dan reset. Berdasarkan kompleksitas instruksi-instruksi yang dapat diterapkan pada mikrokontroler, mikrokontroler dibagi menjadi dua antara lain RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) yang merupakan instruksi yang dimiliki terbatas namun memiliki fasilitas yang lebih banyak, dan CISC (*Complex Instruction Set Computer*) yang merupakan instruksi yang lebih lengkap tetapi dengan fasilitas secukupnya.



Gambar 1. Struktur pin Atmega328

Integrated Development Environment (IDE) Arduino merupakan aplikasi yang mencakup *editor, compiler, dan uploader* dapat menggunakan semua seri modul keluarga Arduino, seperti Arduino Duemilanove, Uno, Bluetooth, Mega. Kecuali ada beberapa tipe *board* produksi Arduino yang memakai *microcontroller* di luar seri AVR, seperti mikroprosesor ARM. Saat menulis kode program atau mengkompilasi modul *hardware* Arduino tidak harus tersambung ke *PC* atau *Notebook* walaupun saat proses unggahan ke *board* diperlukan modul *hardware*. *IDE* Arduino juga memiliki keterbatasan tidak mendukung *fungsi debugging hardware* maupun *software*. Proses kompiasi *IDE* Arduino diawali dengan proses pengecekan kesalahan sintaksis *sketch*, kemudian memanfaatkan pustaka *Proscressing* dan *avr – gcc sketch* dikompilasi menjadi berkas *object*, lalu berkas-berkas *object* digabungkan oleh pustaka Arduino menjadi berkas biner. Berkas biner ini diunggah ke *chip microcontroller* via kabel USB, serial port DB9, atau *Serial Bluetooth*. *Compiler IDE* Arduino juga memanfaatkan pustaka *open source AVRlibc* sebagai standar *de-facto*

pustaka referensi dan fungsi register *microcontroller* AVR. Pustaka AVRlibc ini sudah disertakan dalam satu paket program IDE Arduino. Meskipun demikian, kita tidak perlu mendefinisikan *directive#include* dari pustaka AVRlibc pada *sketch* karena otomatis *compiler* me-link pustaka AVRlibc tersebut. Ukuran berkas biner *HEX* hasil kompilasi akan semakin besar jika kode *sketch* semakin kompleks. Berkas biner memiliki ekstensi *.hex* berisi data instruksi program yang biasa dipahami oleh *microcontroller* target. Selain itu, *port* paralel juga bias dipakai untuk mengunggah *bootloader* ke *microcontroller*. Meskipun demikian, cara ini sudah jarang digunakan karena sekarang hampir tidak ada *mainboard* PC yang masih menyediakan *port* paralel, dan pada *notebook* juga sudah tidak menyertakan *port* paralel.

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam satu periode untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Modulasi lebar pulas (PWM) dicapai/diperoleh dengan bantuan sebuah

gelombang kotak yang mana siklus kerja (duty cycle) gelombang dapat diubah-ubah untuk mendapatkan sebuah tegangan keluaran yang bervariasi yang merupakan nilai rata-rata dari gelombang tersebut. PWM bekerja sebagai switching power supply untuk mengontrol on dan off. Tegangan DC akan dikonversikan menjadi sinyal kotak bolak-balik, saat mendekati tegangan puncak dan saat off menjadi nol (0) volt. Jika frekuensi switching cukup tinggi maka temperatur desktop komputer akan dikendalikan sesuai yang diharapkan yaitu dengan mengatur duty cycle dari sinyal yang disebabkan oleh PWM[4]. Sinyal PWM pada umumnya memiliki amplitudo dan frekuensi dasar tetap, namun memiliki lebar pulsa yang bervariasi. Lebar pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang belum termodulasi. Artinya sinyal PWM memiliki frekuensi gelombang yang tetap namun *duty cycle* bervariasi antara 0%-100%.[5] *Duty Cycle* merupakan perbandingan antara pulsa *high* dengan pulsa *low* pada satu gelombang. Apabila dalam suatu rangkaian astable MV dikatakan memiliki frekuensi output 2 KHz dengan *Duty Cycle* 70% maka dalam sebuah periode gelombang output rangkaian 70% nya merupakan periode *high*. Dimana rumus dari *duty cycle* :

$$D = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

T_{on} = Waktu Pulsa High

T_{off} = Waktu Pulsa Low

D = Duty Cycle (lamanya pulsa high dalam satu periode)

Arduino UNO adalah board berbasis mikrokontroler pada ATmega328. Board ini memiliki 14 digital input / output pin (dimana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack listrik tombol reset. Pin-pin ini berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler, hanya terhubung ke komputer dengan kabel USB atau sumber tegangan bisa didapat dari adaptor AC-DC atau baterai untuk menggunakannya.



Gambar 2. Board Arduino Uno

Mikrokontroler Arduino Uno memiliki karakteristik sebagai berikut :

Tabel 1. Karakteristik Arduino Uno

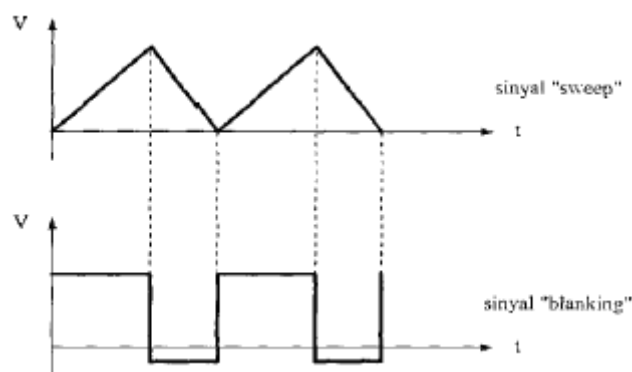
Mikrokontroler	ATMega328
Operasi Voltage	5 V
Input Voltage	7 – 12 V (rekomendasi)
Input Voltage	6 – 20 V (limit)
I/O	14 pin (6 pin untuk PWM)
Arus	50 mA
Flash Memory	32 KB
Bootloader	SRAM 2 KB
EEPROM	1 KB
Kecepatan	16 MHz

Ketersediaan mikroprosesor yang cukup murah saat ini juga mendorong para *engineer* untuk mulai menerapkan pengontrolan secara digital dengan memanfaatkan

teknologi komputer. Kontrol mikroprosesor ini memiliki fleksibilitas serta dapat meningkatkan performa sistem.

Motor DC adalah suatu motor yang mengubah energi listrik searah menjadi energi mekanis berupa tenaga penggerak torsi. Motor DC digunakan dimana kontrol kecepatan dan kecepatan torsi diperlukan untuk memenuhi kebutuhan aplikasi. Motor DC dapat dikendalikan oleh mikrokontroler dengan menggunakan metode PWM (Pulse Width Modulation). Metode Pulse Width Modulation (PWM) adalah sebuah teknik yang digunakan untuk mengatur kecepatan sebuah motor DC yaitu dengan cara membuat gelombang persegi yang memiliki perbandingan pulsa high terhadap pulsa low tertentu, biasanya diskalakan dari 0 hingga 100%.

H-bridge merupakan rangkaian yang konfigurasi atau susunan transistornya seperti membentuk huruf H. Transistor ini digunakan sebagai switching atau sebagai saklar sehingga nantinya motor dapat berputar searah jarum jam (*clockwise*) dan berlawanan arah jarum jam (*counterclockwise*). Penerapan H-bridge banyak digunakan pada driver motor. Transistor yang sering digunakan adalah tipe TIP 31 dan TIP 32. Transistor adalah bahan semikonduktor yang dipakai sebagai penguat, sebagai sirkuit pemutus dan penyambung (switching), stabilisasi tegangan, modulasi sinyal atau sebagai fungsi lainnya. Transistor dapat berfungsi semacam kran listrik, dimana berdasarkan arus inputnya (BJT) atau tegangan inputnya (FET), memungkinkan pengaliran listrik yang sangat akurat dari sirkuit sumber listriknya. Osiloskop adalah alat ukur besaran listrik yang dapat memetakan sinyal listrik. Pada kebanyakan aplikasi, grafik yang ditampilkan memperlihatkan bagaimana sinyal berubah terhadap waktu. Osiloskop tipe analog (ART) prinsip kerjanya menggambarkan bentuk-bentuk gelombang listrik dengan gerakan pancaran electron dalam sebuah tabung sinar katoda yang bergerak dari kiri ke kanan. Pancaran electron dari bagain senapan electron yang menumbuk dinding dalam tabung tersebut mengeksitasi electron dalam lapisan fosfor pada layar tabung sehingga terjadi nyala pada layar yang menggambarkan bentuk dasar gelombang. Untuk bentuk gelombang ada 3 yakni seperti gelombang pada tegangan sinus, gelombang tegangan persegi dan gelombang tegangan DC (seajajar / lurus). Ketika osiloskop dijalankan, haruslah dikalibrasi terlebih dahulu dan menghasilkan gelombang blanking (kotak), baru kemudian ketika ada sinyal masuk, ia akan membentuk gelombang *sweep*. Bentuk tegangan *sweep* ini dapat terlihat bahwa simpangan horizontal pada layar akan bergerak dari kiri ke kanan secara linier, kemudian dengan cepat kembali lagi ke kiri.



Gambar 3. Sinyal Oscilloscope

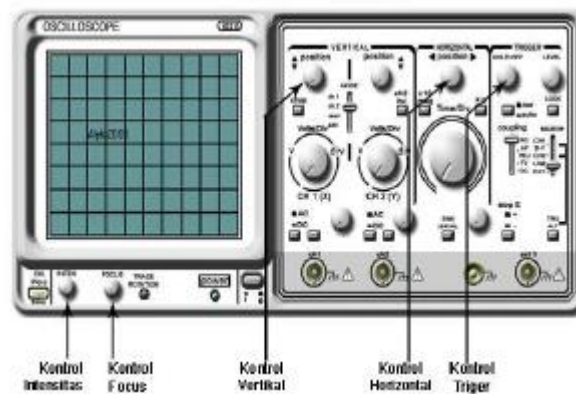
Berikut adalah keterangan alat Osiloskop :

Beberapa tombol pengatur yang penting:

- Intensitas: mengatur intensitas (“keterangan”) cahaya pada layar. Sebaiknya dijaga agar tombol intensitas ini tidak pada kedudukan maksimum
- Focus : mengatur ketajaman gambar yang terjadi pada layar
- Horizontal dan Vertikal: mengatur kedudukan gambar dalam arah horizontal dan vertikal
- Volt/Div (atau Volts/cm), ada 2 tombol yang konsentris. Tombol ditempatkan pada kedudukan maksimum ke kanan (searah dengan jarum jam) menyatakan osiloskop dalam

keadaan terkalibrasi untuk pengukuran. Kedudukan tombol di luar menyatakan besar tegangan yang tergambar pada layar per kotak (per cm) dalam arah vertikal

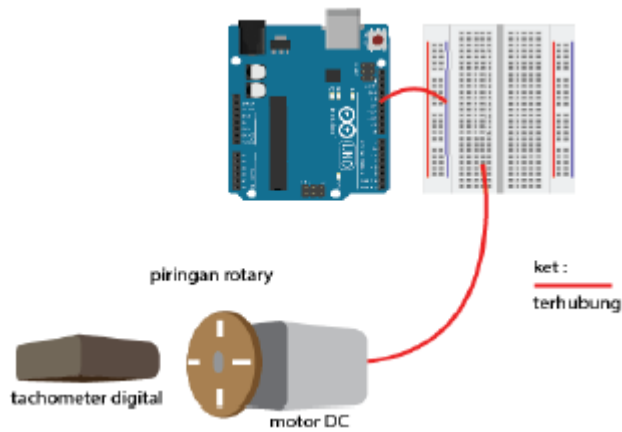
- Time/Div (atau Time/cm), ada 2 tombol yang konsentris. Tombol di tengah pada kedudukan maksimum ke kanan (searah dengan jarum jam) menyatakan osiloskop dalam keadaan terkalibrasi untuk pengukuran. Kedudukan tombol diluar menyatakan faktor pengali untuk waktu dari gambar pada layar dalam arah horizontal
- Sinkronisasi: mengatur supaya pada layar diperoleh gambar yang tidak bergerak
- Slope: mengatur saat trigger dilakukan, yaitu pada waktu sinyal naik (+) atau pada waktu sinyal turun (-)
- Kopling: menunjukkan hubungan dengan sinyal searah atau bolak-balik
- Trigger "Ext" atau "Int": "Exit" : Trigger dikendalikan oleh rangkaian di luar osiloskop. Pada kedudukan ini fungsi tombol "sinkronisasi", "slope" dan "kopling" tidak dapat dipergunakan "Int" : trigger dikendalikan oleh rangkaian di dalam osiloskop. Pada kedudukan ini fungsi tombol "sinkronisasi", "slope" dan "kopling" dapat dipergunakan.



Gambar 4. Alat oscilloscope

METODOLOGI

Pada penelitian Pulse Width Modulation sebagai pengatur kecepatan motor diperlukan alat-alat yaitu Motor DC, arduino uno digunakan sebagai, laptop digunakan untuk mengatur nilai PWM, tachometer digital digunakan untuk menghitung kecepatan rotasi motor tiap menit, kabel jumper digunakan untuk menghubungkan antar komponen elektronika, osiloskop digunakan untuk , project board digunakan untuk, L293D (H-bridge) dan baterai.. Langkah pertama yang dilakukan yaitu merangkai alat dan bahan sesuai gambar 5 dan gambar 6. Setelah itu mengatur nilai PWM pada laptop, selanjutnya meng *upload* code ke arduino uno. Mengamati output yang arduino (pin 3) dengan menggunakan osiloskop, kemudian hasil yang diperoleh ton dan toff dicatat serta tidak lupa untuk mencatat nilai RPM, selanjutnya mengulangi langkah yang ada dengan menggunakan nilai PWM yang berbeda, variasi PWM yang digunakan yaitu kelipatan 10 dari 25 hingga batas maksimal 255.



Gambar 5. Skema alat

Dari data yang diperoleh, kemudian diolah dan diproses dengan menggunakan persamaan 1.1 untuk mengetahui *Duty Cycle*, setelah itu dibuat grafik antara *Duty Cycle* dengan RPM. Data-data yang diperoleh dicatat dalam tabel pengamatan. Berikut merupakan contoh perhitungan yang diperoleh pada percobaan ini.

Diketahui :

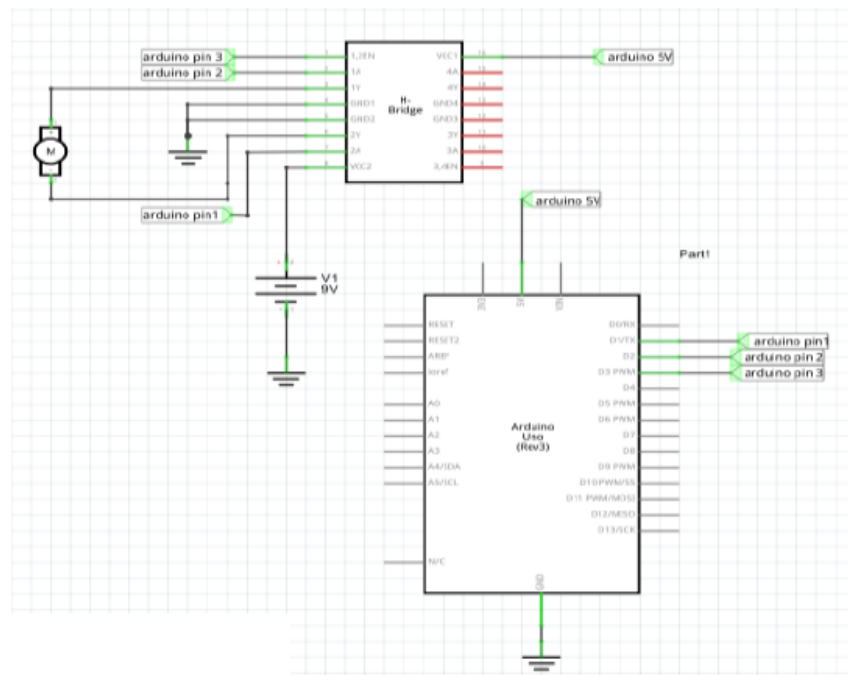
$$PWM = 25 \text{ RPM} = 0 \text{ ton} = 1 \text{ ms toff} = 9 \text{ ms}$$

Ditanya : *duty cycle* = ?

$$\text{Penyelesaian } \textit{duty cycle} = t_{\text{ont on}} + t_{\text{off}} \cdot 100\% \textit{ duty cycle} = 11 + 9 \cdot 100\%$$

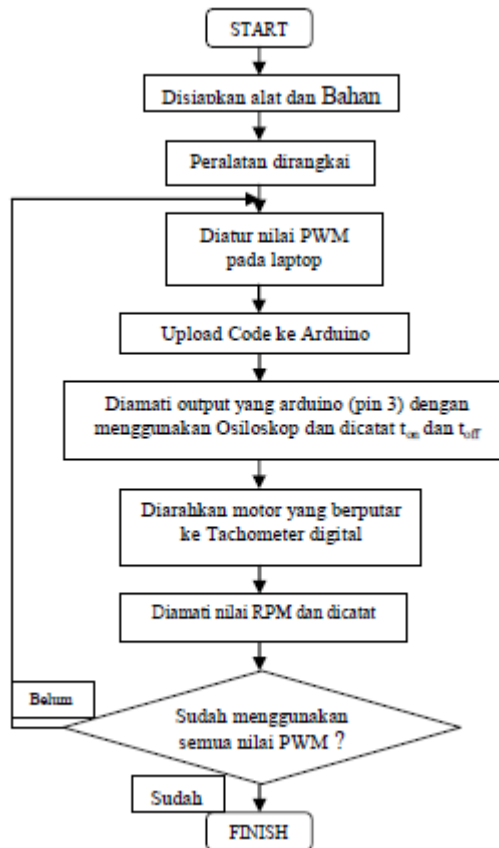
$$\textit{duty cycle} = 110 \cdot 100\% \textit{ duty cycle} = 10\%$$

Dari hasil perhitungan tersebut diperoleh nilai *duty cycle* sebesar 10%.



Gambar 6. Skematik Rangkaian

Alur flowchart untuk penelitian ini ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Flow chart perancangan alat

HASIL DAN PEMBAHASAN

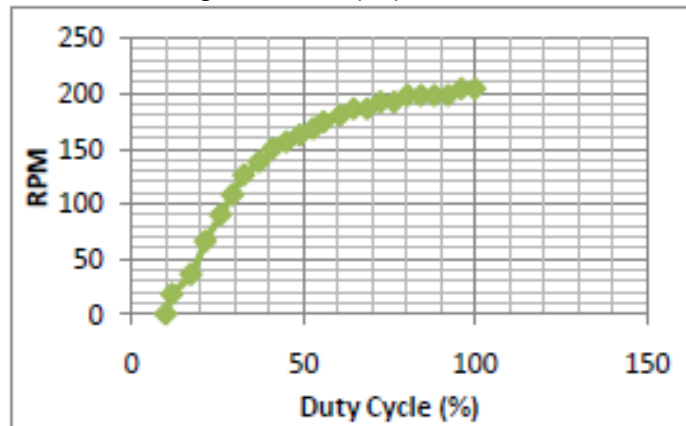
Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan maka didapatkan data sebagai berikut.

Tabel 1. Data hasil pengamatan dengan menggunakan motor DC

PWM	RPM	Ton (ms)	Toff (ms)	Duty Cycle (%)
25	0	1	9	10
35	18	1.2	9	11.76470588
45	36	1.8	8.6	17.30769231
55	66	2.2	8	21.56862745
65	90	2.6	7.4	26
75	108	3	7.2	29.41176471
85	126	3.4	7	32.69230769
95	138	3.8	6.4	37.25490196
105	150	4.2	6	41.17647059
115	156	4.6	5.6	45.09803922
125	162	5	5.2	49.01960784
135	168	5.4	4.8	52.94117647
145	174	5.6	4.4	56
155	180	6.2	4	60.78431373
165	186	6.6	3.6	64.70588235
175	186	7	3.2	68.62745098
185	192	7.4	2.8	72.54901961
195	192	7.8	2.4	76.47058824
205	198	8.2	2	80.39215686
215	198	8.6	1.6	84.31372549
225	198	9	1.2	88.23529412
235	198	9.4	0.8	92.15686275
245	204	9.8	0.4	96.07843137
255	204	10	0	100

Berdasarkan data dari tabel 1, dapat disimpulkan bahwa kenaikan nilai setting PWM akan berpengaruh pada kenaikan *duty cycle*. Kenaikan *duty cycle* ini juga akan meningkatkan nilai RPM motor DC.

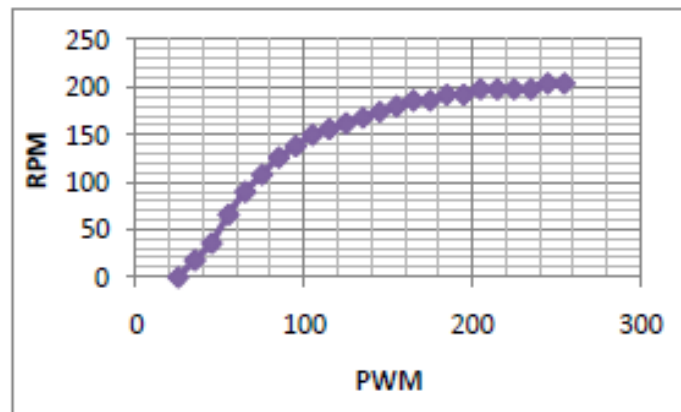
Dari hasil data yang diperoleh pada percobaan, maka diperoleh grafik perbandingan antara nilai RPM pada motor DC dengan nilai *duty cycle*.



Gambar 7. Grafik Hubungan *RPM* dengan *Duty Cycle*

Berdasarkan grafik gambar 7, kenaikan *duty cycle* juga akan menaikkan putaran motor (*RPM*) dari motor DC

Sedangkan grafik hubungan PWM terhadap kecepatan motor diberikan oleh gambar berikut ini:



Gambar 8. Grafik hubungan PWM dengan RPM

Berdasarkan grafik gambar 8, kenaikan nilai PWM juga akan menaikkan putaran motor (*RPM*) dari motor DC

ATmega 328P memiliki rentang nilai resolusi PWM 0-255 hal ini dikarenakan ATmega 328P memiliki kapasitas data sebesar 8bit. Nilai PWM ini dapat diubah dengan menggunakan software Arduino UNO yang sebelumnya sudah diinstal terlebih dahulu pada laptop yang akan digunakan. Pada praktikum ini dilakukan dengan menggunakan beberapa variasi nilai PWM yaitu kelipatan 10 dari 25 hingga 255. Pada tabel 1 terdapat hasil pengamatan Ton dan Toff dengan menggunakan osiloskop. Ton dan Toff yang diperoleh ini merupakan hasil variasi dari PWM yang sudah diatur dengan kelipatan 10 mulai dari 25 hingga 255. Pertama rangkaian dihubungkan pin 3 pada arduino UNO dan juga dihubungkan pin 3 tersebut menggunakan probe pada osiloskop sehingga pada osiloskop akan terlihat sinyal keluarannya. Besar range Ton dan Toff dapat dihasilkan dengan mengubah nilai time/diff pada osiloskop. Dari variasi PWM yang digunakan diketahui bahwa semakin besar nilai PWM, maka Ton yang dihasilkan pada layar osiloskop memiliki range yang besar pula sedangkan Toff yang dihasilkan pada layar osiloskop akan semakin kecil. Hal tersebut terjadi karena prinsip kerja modulasi, dengan tidak mengubah amplitude dan periode pada tiap satu siklus sinyalnya. Sedangkan dengan menggunakan persamaan 1.1 dengan menggunakan variasi PWM maka dapat diperoleh nilai *duty cycle* pada percobaan. Pada tabel 1 tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar nilai PWM yang diberikan, maka nilai *duty cycle* yang dihasilkan juga akan semakin besar. Ditunjukkan juga pada gambar 8 yaitu Grafik hubungan RPM terhadap nilai *duty cycle*,

dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar RPM maka nilai dari *duty cycle* juga semakin besar pula. Sedangkan pada gambar 9 yaitu grafik hubungan RPM terhadap PWM juga menunjukkan bahwa semakin besar variasi PWM yang digunakan, maka nilai RPM yang dihasilkan juga akan semakin besar.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari percobaan di atas diperoleh kesimpulan bahwa semakin besar nilai PWM maka RPM motor DC juga akan semakin besar, dan semakin besar nilai PWM yang diberikan, maka nilai *duty cycle* yang dihasilkan juga akan semakin besar. Hasil pengukuran tegangan terminal menunjukkan bahwa untuk berbagai tingkat pembeban generator, sistem kendali fuzzy dapat mempertahankan nilai tegangan setting yang diberikan, demikian pula untuk berbagai tingkat kecepatan penggerak mula, tegangan output yang dihasilkan memberikan nilai yang hampir sama.
2. Nilai terendah PWM adalah 25 dengan *duty cycle* 10% dan nilai tertinggi PWM adalah 255 dengan *duty cycle* 100%.
3. Kecepatan putar motor (RPM) terendah adalah 0 rpm dengan nilai PWM sebesar 25 dan kecepatan putar motor (RPM) tertinggi adalah 204 rpm dengan nilai PWM sebesar 255.

Referensi

- [1] Hasan, Abul R., A.H.M. Sadrul Ula. 1994. *Design and Implementation of a Fuzzy Controller Based Automatic Voltage Regulator for a Synchronous Generator*. IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.9, No.3, September 1994.
- [2] J.P.Rey. 2002. *Lecture Notes Principles of Fuzzy Logic*. Noordelijke Hogeschool Leeuwarden.
- [3] Malvino.Barmawi. 1994. *Prinsip-Prinsip Elektronika*. Jilid 1. Edisi 3. Jakarta : Erlangga.
- [4] Malvino.Barmawi. 1996. *Prinsip-Prinsip Elektronika*. Jilid 2. Edisi 3. Jakarta : Erlangga.
- [5] Mohan,Ned. Tore M.Undeland. William P.Robins. 1995. *Power Electronics : Converters, Applications, and Design*. Second Edition. New York : John Wiley and Sons.
- [6] Panduan untuk Pembangunan Pembangkit Listrik Mikro Hidro.
- [7] Panjaitan,R. 2000. *Mesin Listrik Arus Bolak-Balik*. Bandung : Tarsito.
- [8] Setiawan, Budi. 2004. *Perancangan dan Pembuatan Regulator DC Menggunakan Buck-Boost*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro UNAND. Padang.
- [9] Wasito.S. 2001. *Vademekum Elektronika*. Edisi 2. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama.
- [10] Zuhail. 1995. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama.
- [11] Zulhamdi. 2006. *Simulasi Hybrid PI-Fuzzy Kontroler pada Sistem Weight Feeder Conveyor*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro UNAND. Padang.
- [12] Anggraini, Bima, RahmiDewidanJuandi. 2013. *Mikrokontroler dan Sensor Suhu*. Jakarta: Penerbit Airlangga
- [13] Budiharto, Widodo. 2008. *10 Proyek Robot Spektakuler*, Elex Media Komputindo: Jakarta
- [14] Sadiku, Matthew NO. *Fundamentals of Electric Circuits fifth edition*. New Yourk. Mc Gaw Hill