

BAB II

www.itk.ac.id

TINJAUAN PUSTAKA

Pada pengantar bab ini berisi tentang dasar teori dari penelitian yang dilakukan. Adapun yang menjadi landasan teori yakni motor DC dan pengendalian motor dengan metode PID

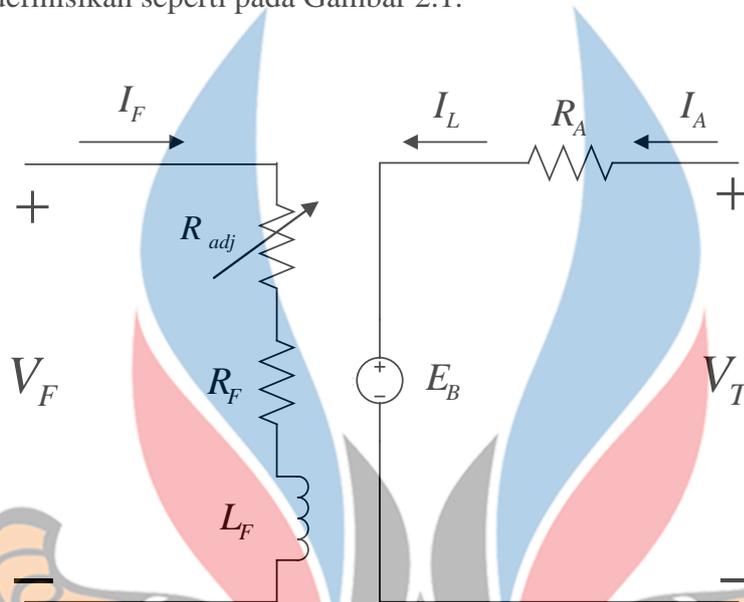
2.1 Motor DC

Motor listrik merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik yang dihasilkan dari motor listrik digunakan untuk menggerakkan berbagai peralatan. Motor arus searah (dc) adalah jenis motor yang pertama kali digunakan dalam dunia industri karena karakteristik pengaturannya yang baik. Kumaran medan pada motor dc terletak di *stator* sedangkan kumaran jangkar terletak di *rotor*. Pada prinsip kerja motor dc, arah medan magnet *rotor* akan selalu berlawanan dengan arah medan magnet *stator*, hal tersebut karena disebabkan oleh sifat magnet yaitu bahwa jika magnet yang berlawanan arah didekatkan satu sama lain mereka akan saling tarik menarik dan sebaliknya jika magnet yang searah akan saling tolak. Arah medan magnet *stator* adalah tetap sehingga arah medan magnet *rotor* harus menyesuaikan atau dirubah dengan tujuan untuk menjaga kontinyuitas momen putar *rotor*. Agar tercipta efek perubahan arah medan *rotor*, arah aliran arus yang mengalir dalam rangkaian jangkar diubah arahnya dengan cara menghubungkan sumber tegangan luar dengan rangkaian jangkar melalui sikat (*brush*) yang dilengkapi dengan *comutator*. Fungsi cincin komutasi tersebut adalah untuk menjaga agar posisi medan jangkar selalu optimal dalam menghasilkan medan putar. Sedangkan medan *stator* dapat dibangkitkan dengan magnet permanen atau elektromagnetis (Soebagio, 2008).

2.1.1 Persamaan Motor DC

Persamaan matematika pada pemodelan mesin DC dapat diturunkan dengan menggunakan hukum-hukum dasar rangkaian listrik serta prinsip-prinsip hubungan

elektromekanik melalui rangkaian ekivalen motor DC. Persamaan tersebut digunakan untuk analisis dan perencanaan teknik pengaturan motor (Soebagio, 2008). Rangkaian ekivalen sebuah mesin dc dengan penguatan terpisah (*separately excited*) didefinisikan seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Rangkaian Ekivalen Motor DC Penguatan Terpisah (*Separately Exciter*)

Persamaan yang mengatur kerja motor DC dapat dituliskan sebagai berikut. Persamaan rangkaian medan ditunjukkan pada persamaan (2.1) sedangkan persamaan rangkaian jangkar pada persamaan (2.2). Fungsi terhadap waktu ditunjukkan melalui besaran yang ditulis dengan huruf kecil.

$$V_F = R_F I_F + L_F \frac{dI_F}{dt} \quad (2.1)$$

$$V_T = R_A I_A + E_B \quad (2.2)$$

$$E_B = K I_F \omega \quad (2.3)$$

$$T_E = K I_F I_A \quad (2.4)$$

Hubungan elektromekanik dituliskan sebagai berikut:

$$T_E = T_L + J_M \frac{d\omega_M}{dt} + B_M \omega_M \quad (2.5)$$

T_E dan T_L merupakan torsi motor dan torsi beban, sedangkan J_M adalah konstanta inersia dan ω_M merupakan kecepatan motor serta B_M adalah koefisien redaman sistem mekanis.

Pemodelan dari rangkaian medan, rangkaian jangkar, model elektromekanis, *back emf* dari mesin dc ditunjukkan pada persamaan (2.1), (2.2), (2.3), (2.4), (2.5). Rangkaian pada *stator* direpresentasikan oleh hambatan R_F dan induktor L_F yang tersusun secara seri. Pada rangkaian DC, induktor berlaku sebagai *short circuit* sehingga besar tegangan pada *stator* tersebut adalah:

$$V_F = I_F R_F \quad (2.6)$$

Motor DC terdiri dari berbagai bagian dan komponen utama, diantaranya sebagai berikut:

- a. Kutub medan. Motor DC memiliki 2 kutub yaitu kutub utara dan kutub selatan. Pada kutub medan ini garis magnetik energi membesar melintasi ruang terbuka diantara kutub-kutub dari kutub utara ke selatan. Untuk motor dc yang lebih kompleks terdapat satu atau lebih elektromagnet.
- b. Dinamo, bentuknya silinder, berfungsi untuk menggerakkan beban. Pada motor dc yang sederhana, dinamo berputar pada medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub.
- c. *Commutator*, berfungsi untuk mentransmisikan arus antara sumber daya dan dynamo (Asim dan Abido, 2013).

Motor dc juga berfungsi sebagai pengendali kecepatan, tanpa mempengaruhi pasokan kualitas daya. Dengan meningkatkan tegangan dinamo maka akan meningkatkan kecepatan motor dc. Selain itu, untuk meningkatkan kecepatan juga dapat dilakukan dengan menurunkan arus medan (Ahmad, dkk, 2013).

2.2 Prinsip Kerja Motor PMDC

Prinsip kerja motor PMDC terbagi menjadi pemodelan pemodelan sebagai motor dan pemodelan sebagai generator.

2.2.1 Pemodelan Sebagai Motor

Jika terdapat beban gaya pada batang (*load*) yang berlawanan terhadap arah gaya Lorentz, maka beban tersebut akan memperlambat batang sehingga menimbulkan keseimbangan gaya antara gaya beban terhadap gaya Lorentz. Saat kondisi ini tercapai, batang akan bergerak dengan kecepatan konstan (Sulasno, 2009).

Besar daya yang digunakan sebagai *input* pada batang berasal dari sumber tegangan V_T yaitu:

$$P = V_T I_A \quad (2.7)$$

2.2.2 Pemodelan Sebagai Generator

Jika terdapat gaya yang menarik batang pada saat besar arus dalam rangkaian bernilai nol, maka batang akan menghasilkan beda tegangan induksi pada kedua ujungnya. Beda tegangan ini menghasilkan arus yang berlawanan arah jarum jam. Arus ini dapat mengisi baterai atau hilang sebagai panas pada resistor. Dalam kondisi ini, telah terjadi perubahan energi mekanis (akibat tarikan pada batang) menjadi energi kimiawi (muatan yang tersimpan pada senyawa kimia dalam baterai) (Djiteng, 2006).

2.3 Struktur dan Cara Kerja Motor PMDC

Struktur dan cara kerja motor PMDC terbagi menjadi struktur *rotor* dan *stator*, gaya gerak listrik (GGL/emf) terinduksi dan Komutasi, rangkaian ekivalen motor PMDC dan prinsip pengaturan kecepatan motor PMDC.

2.3.1 Struktur Rotor dan Stator

Secara umum, motor DC terdiri dari bagian *stator* (bagian diam) berbentuk silindris dengan magnet yang dipasang secara berpasangan (*poles* magnet pada motor PMDC berupa magnet permanen), dan terdapat beda kutub magnet pada keliling *stator* (Robert dan Stefano, 1999).

Di dalam *stator* terdapat *rotor* (bagian yang bergerak) yang terdiri dari silinder besi terlamina yang dipasang pada batang penggerak (*shaft*) yang disokong oleh bantalan (*bearing*) sehingga membuat *shaft* dapat berputar. Ruang kosong antara permukaan *rotor* dengan *stator* dapat diberikan lilitan *armature* untuk membesarkan efek gaya Lorentz (Deshpande, 1990).

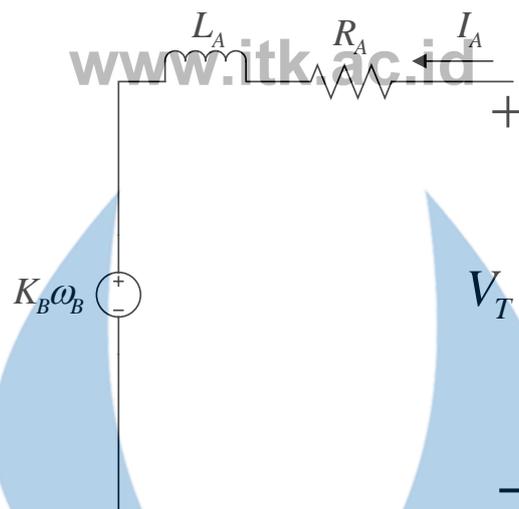
Fluks magnet akan cenderung memilih jalur yang paling kecil reluktansinya. Hal itu disebabkan karena reluktansi udara lebih besar dibanding reluktansi pada besi, maka fluks akan bergerak melewati lintasan terpendek dari *stator* ke *rotor*. Dan pada akhirnya fluks medan magnet akan berarah tegak lurus secara radial terhadap kumparan *armature*. Fluks magnet bernilai sama besar untuk sekeliling *rotor* karena besar medan magnet sama. Dengan hukum Lorentz dan aturan tangan kanan maka dihasilkan torka yang memutar *shaft* yang arahnya berlawanan arah jarum jam untuk kondisi yang digambarkan (Jimmie, 2001).

2.3.2 Gaya Gerak Listrik (GGL/emf) Terinduksi dan Komutasi

Saat *rotor* berputar, konduktor (*armature* dan besi) bergerak melintasi medan magnet yang dihasilkan *stator* sehingga akan menimbulkan gaya Lorentz. Namun seiring perputaran, arah medan magnet yang dilintasi akan berubah terbalik. Hal tersebut menyebabkan timbulnya gaya yang melawan arah putaran. Hal ini dapat diatasi dengan menggunakan *comutator* untuk membalik arus sehingga arah medan magnet tetap sepanjang putaran *rotor* (Sulasno, 2009).

2.3.3 Rangkaian Ekuivalen Motor PMDC

Rangkaian ekuivalen motor DC magnet permanen (PMDC) sama dengan rangkaian motor DC biasa. Perbedaannya adalah pada motor DC magnet permanen tidak memiliki kumparan eksitasi atau kumparan medan. Kumparan medan pada motor PMDC berupa magnet permanen sehingga medan magnet yang dihasilkan berupa fluks magnetik konstan. Fluks magnetik yang konstan menyebabkan arus medan yang dihasilkan juga konstan. Rangkaian ekuivalen motor PMDC dapat ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Rangkaian Ekuivalen Motor PMDC

Motor DC yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah motor DC dengan magnet permanen. Pada motor DC magnet permanen terdapat dua buah magnet permanen sehingga timbul medan magnet diantara dua magnet tersebut. Di dalam medan magnet terdapat perputaran jangkar / rotor. Jangkar pada medan magnet tersebut terletak di tengah motor. Jangkar memiliki jumlah kutub yang ganjil dan terdapat lilitan pada setiap kutubnya. Lilitan tersebut terhubung ke bagian yang disebut *comutator*. Sikat (*brush*) yang terhubung ke kutub positif dan negatif memberikan daya ke lilitan dan menyebabkan kutub yang satu akan ditolak oleh magnet permanen yang berada di dekatnya dan lilitan lain akan ditarik ke magnet permanen yang lain. Hal ini menyebabkan jangkar berputar dan *comutator* mengubah lilitan yang mendapat pengaruh polaritas medan magnet sehingga selama kutub positif dan negatif motor diberi daya maka jangkar akan terus mengalami perputaran (Soebagio, 2008). Kecepatan putar motor DC (N) didefinisikan dengan persamaan:

$$N = \frac{V_T - I_A R_A}{K_B \phi} \quad (2.8)$$

Tegangan E_B pada rotor mewakili tegangan rata-rata yang terinduksi pada *armature* karena disebabkan gerak dari konduktor relatif terhadap medan magnet. Tegangan E_B biasanya disebut back emf karena arahnya berlawanan dengan arah arus sumber dari luar motor. Resistor R_A merupakan hambatan dari lilitan *armature*

serta hambatan dari sikat (pada *comutator*). Besar tegangan terinduksi pada *armature* adalah: www.itk.ac.id

$$E_B = K_B \phi \omega_M \quad (2.9)$$

K_B adalah konstanta *back-emf* yang bergantung pada desain motor, ϕ merupakan fluks magnet yang dihasilkan oleh tiap kutub *stator* dan ω_M merupakan kecepatan sudut *rotor*. Dari persamaan gaya Lorentz maka diperoleh torka yang dihasilkan pada mesin sebesar :

$$T_{dev} = K_T \phi I_A \quad (2.10)$$

I_A adalah arus pada lilitan *armature* sehingga diperoleh besar *developed power* yaitu besar daya yang diubah menjadi *mechanical power* :

$$P_{dev} = \omega_m T_{dev} \quad (2.11)$$

Besar daya ini adalah sama dengan daya listrik yang dihasilkan :

$$P_{dev} = V_T I_A \quad (2.12)$$

2.3.4 Prinsip Pengaturan Kecepatan Motor PMDC

Prinsip pengaturan kecepatan motor PMDC tergantung pada persamaan dasar emf. Torsi, *flux*, arus, emf yang terinduksi, dan kecepatan dinormalisasi untuk menampilkan karakteristik motor. Tipe pengaturan motor PMDC adalah pengaturan jangkar. Metode ini digunakan untuk menghasilkan berbagai pengaturan kecepatan. Karakteristik kecepatan torsi motor berhubungan dengan kedua arah rotasi dan torsi dalam arah rotasi. Seperti proses operasi pada umumnya yang dikenal sebagai operasi empat kuadran, prinsip pengaturan kecepatan motor PMDC berhubungan dengan tegangan dan arus *input* untuk jangkar motor PMDC. Hal tersebut digunakan untuk menentukan besarnya daya yang diberikan (Deshpande, 1990).

A. Persamaan Fundamental

Persamaan tegangan induksi pada flux medan dan kecepatan diberikan sebagai berikut:

$$e = K\phi_f\omega_m \quad (2.13)$$

Dari substitusi diperoleh persamaan sebagai berikut ;

$$\omega_M = \frac{e}{\phi_f} = \frac{V - I_a R_a}{\phi_f} \quad (2.14)$$

Masing-masing V dan I_a adalah tegangan dan arus jangkar.

B. Pengaturan Jangkar

Besarnya kecepatan dapat diturunkan dari persamaan :

$$\omega_m = (V - I_a R_a) \quad (2.15)$$

Oleh karena itu, diperlukan pengaturan jangkar untuk memvariasikan nilai kecepatan pada kondisi berbagai perubahan tegangan yang terjadi. Membalikkan tegangan yang diterapkan menyebabkan perubahan arah dari putaran motor. Keuntungan yang diperoleh dari proses pengaturan jangkar adalah arus jangkar dapat dikendalikan dengan cepat. Respons ditentukan oleh waktu jangkar yang konstan dan memiliki nilai yang sangat rendah. Sebaliknya, konstanta waktu medan setidaknya bernilai 10 sampai 100 kali lebih besar dari konstanta waktu jangkar. Besarnya konstanta waktu pada medan menyebabkan respons medan yang dikendalikan oleh penggerak motor menjadi lambat (Imam, 2006).

Pengaturan jangkar terbatas pada kecepatan dengan besaran yang terbatas pada banyaknya suplai tegangan dc dan isolasi belitan jangkar. Jika besarnya suplai tegangan DC divariasikan dari nol ke nilai nominalnya, maka kecepatan dapat dikontrol dari nol ke nilai nominalnya. Oleh karena itu, pengaturan jangkar sangat ideal diterapkan pada kecepatan yang lebih rendah dari nilai kecepatan nominalnya, sedangkan pengaturan medan cocok diterapkan pada kecepatan yang lebih besar dari nilai kecepatan nominalnya (Soebagio, 2008).

2.4 Kontrol PID

Kontroler merupakan salah satu komponen yang berfungsi mengolah sinyal umpan balik dan sinyal referensi menjadi sinyal kontrol sedemikian rupa dan sehingga performa sistem yang dikendalikan sesuai dengan spesifikasi performansi yang diinginkan. Tipe kontroler salah satunya adalah kontroler PID. Elemen-elemen P, I, dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar. Persamaan kontroler PID dalam bentuk Laplace (Ogata,2010).

$$M(s) = K_p(E(s) + \frac{1}{T_i}E(s) + T_D sE(s)) \quad (2.16)$$

2.4.1 Kontroler dengan Pendekatan Model *Plant*

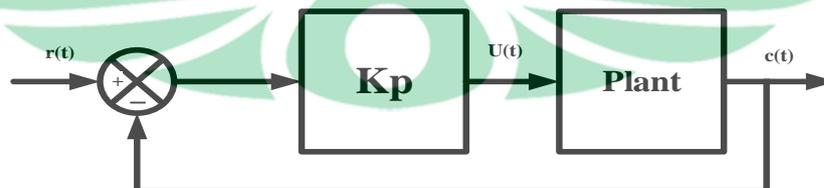
Aspek yang sangat penting dalam desain kontroler PID ialah *tuning* kontroler. Zieger Nicholas mengembangkan metode kurva reaksi pada *plant* dengan sistem lup terbuka dan hasil parameter seperti tabel 2.1 (Ogata, 2010).

Tabel 2.1 Parameter PID Untuk ZN Tipe 1 Model *Plant*

Tipe kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

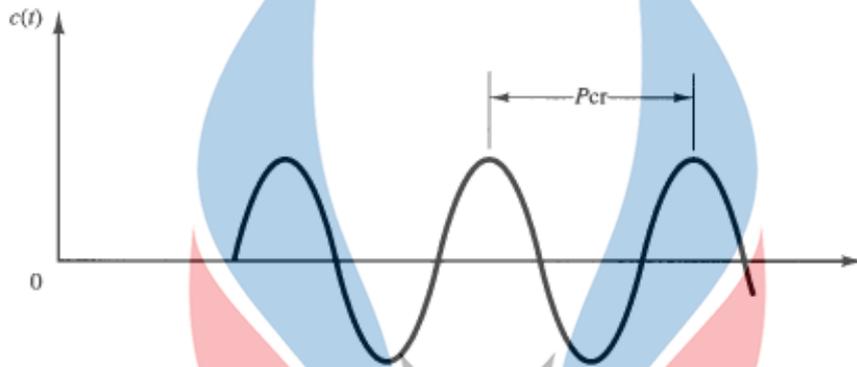
2.4.2 Kontroler dengan Pendekatan *Close Loop*

Dalam metode ZN *close loop* yang digunakan hanya nilai K_p saja. Sistem dibuat hingga beresilasi terus menerus dengan mengatur besarnya nilai K_p .



Gambar 2.3 Sistem *Close Loop* dengan Menggunakan K_p

Besarnya nilai K_p saat respons sistem berosilasi terus menerus merupakan nilai K_{cr} . Dari respons yang dihasilkan, parameter lain ZN tipe *close loop* selain K_{cr} , yaitu P_{cr} dapat dicari. Proses desain menentukan parameter P_{cr} ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Proses Desain Menentukan Parameter P_{cr}

Tabel 2.2 Parameter PID Untuk ZN Tipe 2

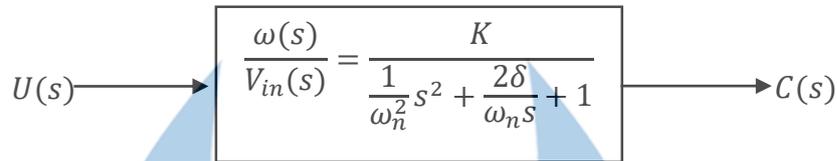
Tipe kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

Setelah parameter K_{cr} dan P_{cr} didapatkan, nilai-nilai K_p , T_i , dan T_d bisa dihitung dengan menggunakan rumus-rumus parameter PID untuk ZN tipe 2. Tabel berikut menunjukkan tabel parameter PID untuk ZN tipe 2 (Ogata,2010).

2.4.3 Kontroler dengan Perancangan Orde Kedua Tanpa Delay

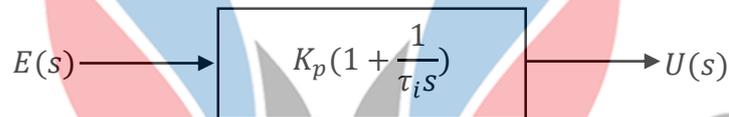
Kontroler PI atau PID merupakan kontroler yang aksi kontrolernya mempunyai sifat proporsional, integral untuk PI dan ditambahkan differensial untuk PID terhadap sinyal kesalahan. Prosedur perancangan kontroler PI atau PID diterapkan pada *plant* orde kedua tanpa *delay*. Dengan menentukan penguatan proporsional K_p , waktu integral τ_i dan waktu diferensial τ_d yang tepat diharapkan respons *plant* orde

kedua tanpa *delay* sesuai dengan spesifikasi performasi yang diinginkan (Ogata, 2010).



Gambar 2.5 Diagram Blok *Plant* Orde Kedua *Open loop*

Nilai yang mengisi K adalah gain, ω_n adalah frekuensi alami tak teredam dan δ adalah rasio peredaman. Nilai-nilai tersebut dicari dengan melihat bentuk *plant* yang digunakan.



Gambar 2.6 Diagram Blok Kontroler PI

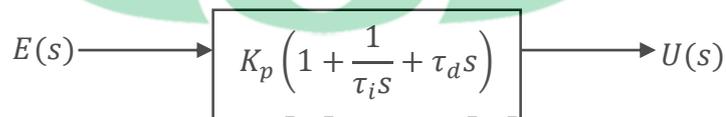
K_p adalah penguatan proporsional dan τ_i adalah waktu integral. Nilai K_p dan nilai τ_i dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut :

$$K_p = \frac{2\delta}{\tau^* \omega_n k} \tag{2.17}$$

$$\tau_i = \frac{2\delta}{\omega_n} \tag{2.18}$$

K_p adalah penguatan proporsional, τ_i adalah waktu integral dan waktu τ_d adalah waktu differensial. Nilai K_p dan nilai τ_i dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2.17 dan 2.18 sedangkan untuk mencari nilai τ_d dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2.19 :

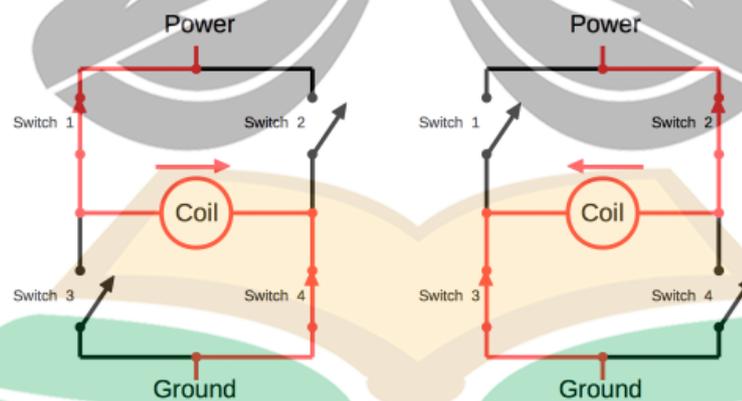
$$\tau_d = \frac{1}{2\delta \omega_n} \tag{2.19}$$



Gambar 2.7 Diagram Blok Kontroler PID

2.5 Driver Motor DC H-Bridge

Untuk menggerakkan motor DC, pada dasarnya *output* pin *microcontroller* dapat langsung dihubungkan dengan motor DC, namun *output* arus dari *microcontroller* harus memenuhi kebutuhan motor DC. Jika kebutuhan arus motor besar, maka tidak dapat langsung dihubungkan dengan *microcontroller* karena *output* arus dari pin-pin *microcontroller* sangat kecil. Salah satu metode rangkaian motor DC adalah *H-Bridge*. Rangkaian *driver* motor DC *H-Bridge* merupakan suatu metode rangkaian transistor yang disusun menyerupai huruf H, rangkaian ini dapat mengendalikan arah putaran motor DC dalam 2 arah dan dapat dikontrol dengan metode *Pulse Width Modulation* (PWM) maupun metode sinyal logika dasar TTL (*High*) dan (*Low*). Untuk pengendalian motor DC dengan metode PWM maka dengan rangkaian *driver* motor DC ini kecepatan putaran motor DC dapat dikendalikan dengan baik. Apabila menggunakan metode logika TTL 0 dan 1 maka rangkaian ini hanya dapat mengendalikan arah putaran motor DC saja dengan kecepatan putaran motor DC maksimum. Rangkaian *driver* motor DC *H-Bridge* ini menggunakan rangkaian jembatan transistor 4 unit dengan proteksi tegangan induksi motor DC berupa dioda yang dipasang paralel dengan masing- masing transistor secara bias mundur.



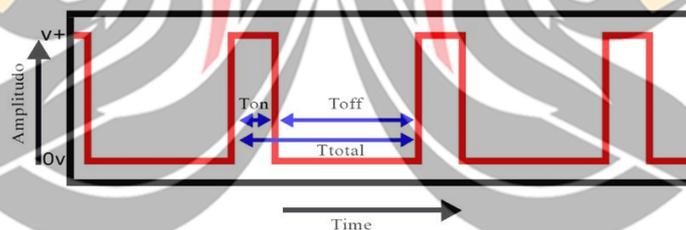
Gambar 2.8 Rangkaian *Driver* Motor DC *H-Bridge* Transistor

Driver Motor DC dengan metode logika TTL (0 dan 1) atau *High* dan *Low* hanya dapat mengendalikan arah putar motor DC dalam 2 arah tanpa pengendalian kecepatan putaran (kecepatan maksimum), untuk mengendalikan motor DC dalam 2 arah dengan rangkaian *driver* motor DC *H-Bridge* diatas konfigurasi kontrol pada

jalur *input* adalah dengan memberikan *input* berupa logika TTL ke jalur *input* A dan B. Untuk mengendalikan arah putar searah jarum jam adalah dengan memberikan logika TTL 1 (*high*) pada jalur *input* A dan logika TTL 0 (*low*) pada jalur *input* B. Untuk mengendalikan arah putar berlawanan arah jarum jam adalah dengan memberikan logika TTL 1 (*high*) pada jalur *input* B dan logika TTL 0 (*low*) pada jalur *input* A (L Khakim, 2012).

2.6 Pulse Width Modulation

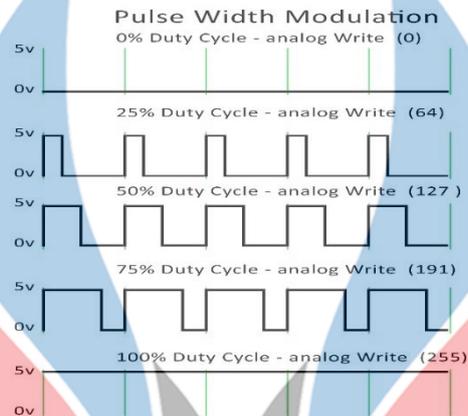
Pulse Width Modulation (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam satu periode, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. PWM juga merupakan sebuah mekanisme untuk membangkitkan sinyal *output* yang periodenya berulang antara *high* dan *low* dimana dapat mengontrol durasi sinyal (0 dan 1) atau *High* dan *Low* sesuai dengan yang kita inginkan. *Duty cycle* merupakan presentase periode sinyal *high* (1) dan periode sinyal *low* (0), presentase *duty cycle* akan berbanding lurus dengan tegangan rata-rata yang dihasilkan (Marzuki, 2014).



Gambar 2.9 *Pulse Width Modulation* (PWM)

Sinyal PWM pada umumnya memiliki amplitudo dan frekuensi dasar yang 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% hingga 100%. PWM merupakan salah satu teknik untuk mendapatkan sinyal analog dari sebuah piranti digital. Sebenarnya sinyal PWM dapat dibangkitkan dengan banyak cara, secara analog menggunakan IC *op-amp* atau secara digital. Secara analog setiap perubahan PWM-nya sangat halus, sedangkan secara digital setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi PWM itu sendiri. Resolusi adalah jumlah

variasi perubahan nilai dalam PWM tersebut. Misalkan suatu PWM memiliki resolusi 8 bit, berarti PWM ini memiliki variasi perubahan nilai sebanyak 256 variasi mulai dari 0 – 255 perubahan nilai yang mewakili *duty cycle* 0% – 100% dari *output* PWM tersebut (L Khakim, 2015).



Gambar 2.10 Pembangkitan Sinyal PWM Secara Digital

2.7 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah papan pengembangan mikrokontroler berbasis arduino dengan menggunakan *chip* ATmega2560. *Board* ini memiliki pin I/O sejumlah 54 buah digital I/O pin dengan 15 pin diantaranya adalah PWM, 16 pin *analog input*, 4 pin *UART serial port hardware*. Arduino Mega 2560 dilengkapi dengan sebuah *oscillator* 16 Mhz, sebuah *port* USB, *power jack* DC, *ICSP header*, dan tombol *reset*. *Board* ini sudah memiliki segala sesuatu yang dibutuhkan untuk sebuah *microcontroller*. Penggunaan Arduino mega 2560 cukup sederhana yaitu, menghubungkan *power* dari USB ke PC atau melalui *adaptor* AC/DC ke *jack* DC (Mulyana, 2017). Gambar Arduino mega 2560 ditunjukkan pada gambar 2.11 dan pada tabel 2.3 ditunjukkan spesifikasi dari Arduino yang digunakan.



Gambar 2.11 Arduino Mega 2560 (Arduino, 2016)

Tabel 2.3 Spesifikasi Arduino Mega 2560

Nama	Spesifikasi
<i>Microcontroller</i>	Atmega2560
Tegangan Operasi	5 Volt
<i>Input Voltage</i> (disarankan)	7-12 Volt
<i>Input Voltage</i> (batas akhir)	6-20 Volt
Digital I/O	Pin 54 buah, 6 diantaranya menyediakan pwm <i>output</i>
<i>Analog Input</i>	Pin 16 buah
Arus DC per pin I/O	20 mA
Arus DC untuk pin 3.3 V	50 mA
<i>Flash Memory</i>	256 KB, 8 KB telah digunakan untuk <i>bootloader</i>
SRAM	8 KB (Atmega2560)
EEPROM	4 KB (Atmega2560)
<i>Clock Speed</i>	16 MHz
Berat	37 gram
Panjang	101.52 mm
Lebar	53.3 mm

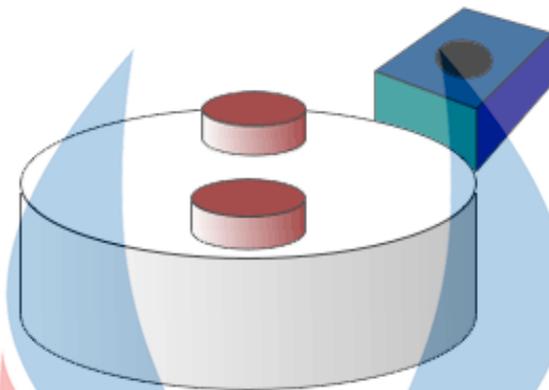
2.8 Hall Effect Sensor

Half effect sensor adalah trenduser yang tegangan keluarannya bervariasi sebagai respons terhadap medan magnet. Pada umumnya *half effect sensor* dibuat dari bahan semikonduktor dengan mobilitas *electron* tinggi seperti *antimonide indium* dan *silikon* yang dapat merespons aliran magnetik yang mempunyai frekuensi dari DC sampai 1 MHz, dalam rentang 1 mT sampai 0,1 T (T = Kepadatan Fluks). *Half effect sensor* digunakan untuk mendeteksi medan magnet, *switch proximity*, kecepatan deteksi dan aplikasi sensing yang mendeteksi arus, temperature, tekanan dan posisi. Diproduksi dalam bentuk *probe* dengan sensitivitas turun ke 100 mT.

Cara kerja *half effect sensor* adalah ketika terdapat medan magnet yang mempengaruhi sensor, maka arus listrik yang mengalir akan berbelok mendekati atau menjauhi sisi yang dipengaruhi medan magnet dan menghasilkan beda tegangan keluaran semakin besar kekuatan medan magnet yang mempengaruhi sensor, pembelokan arus di dalam lapisan silikon semakin besar dan menghasilkan beda tegangan yang semakin besar pada keluaran sensor. Arah pembelokan arus listrik pada lapisan silikon dapat digunakan untuk mengetahui polaritas kutub

medan *half effect sensor*. Sensor ini hanya dapat bekerja jika salah satu sisi dipengaruhi oleh medan magnet.

www.itk.ac.id



Gambar 2.12 Ilustrasi *Hall Effect Sensor*

Gambar 2.12 merupakan ilustrasi dari *hall effect sensor* dalam kondisi medan magnet mendekati sisi yang dipengaruhi oleh medan magnet dan menghasilkan beda keluaran tegangan.

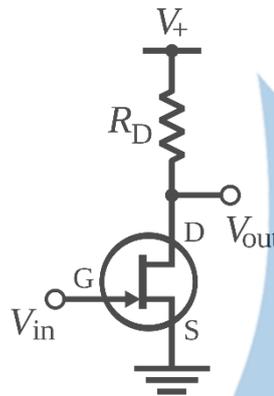
2.9 Mosfet IRF 520

MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) adalah sebuah perangkat semikonduktor yang secara luas digunakan sebagai *switch* dan penguat sinyal pada perangkat elektronik. MOSFET merupakan inti dari sebuah IC (*Integrated Circuit*) yang didesain dan difabrikasi dengan *single chip* karena ukurannya yang sangat kecil. MOSFET memiliki empat gerbang terminal antara lain *Source* (S), *Gate* (G), *Drain* (D), dan *Body* (B). Cara kerja MOSFET adalah muatan listrik yang masuk melalui saluran *Source* yang divariasikan akan diteruskan dan dikeluarkan melalui *Drain*. lebar saluran dikendalikan oleh tegangan pada elektroda yang disebut dengan *Gate* atau gerbang yang terletak diantara *Source* dan *Drain*.

Salah satu contoh MOSFET adalah MOSFET IRF (*Impulse Responce Fuction*) 520. MOSFET IRF 520 tersedia dalam bentuk modul yang dapat didukung oleh *microcontroller* Arduino ATmega 2560, ARM, MCU, Raspberry Pie. Spesifikasi dari MOSFET IRF 520 *module* yang diuraikan dalam tabel 2.4.

www.itk.ac.id

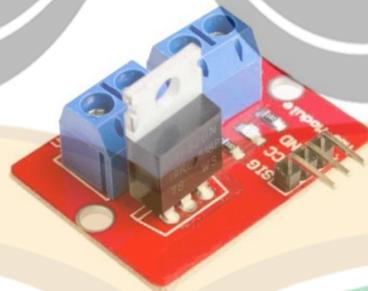
Rangkaian elektronika dari mosfet IRD ditunjukkan pada gambar 2.13 dan bentuk dari *module* mosfet IRF ditunjukkan pada gambar 2.14.



Gambar 2.13 Rangkaian Elektronika MOSFET

Tabel 2.4 Spesifikasi MOSFET IRF 520 *Module*

Parameter	Nilai
Tegangan V_{CC}	3,3 V dan 5 V
Tegangan Keluaran Beban	0 - 24 Volt
Arus Keluaran Beban	5 Ampere
Berat	10 g
Ukuran	33 x 24 mm
Fungsi	Mengendalikan beban hingga 24 Volt, seperti lampuLED, motor DC, pompa mini, dan <i>solenoid valves</i>



Gambar 2.14 MOSFET IRF 520 *Module* (Direnc, 2019)

2.10 Sensor Tegangan

Sensor tegangan digunakan untuk mengukur tegangan DC. Prinsip kerja modul sensor tegangan yaitu didasarkan pada prinsip penekanan resistansi, dan dapat membuat tegangan *input* berkurang hingga 5 kali dari tegangan asli. Bentuk modul sensor tegangan seperti ditunjukkan pada gambar 2.15.



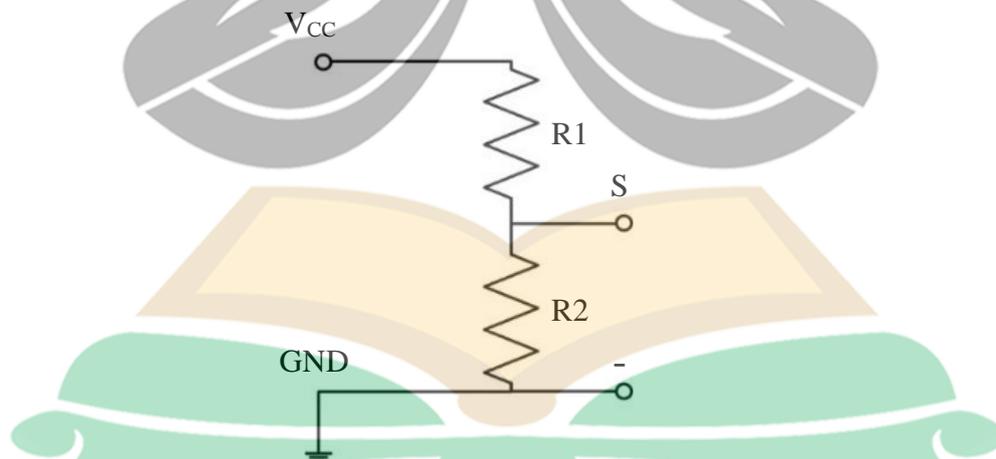
Gambar 2.15 Modul Sensor Tegangan (Direnc, 2019)

Spesifikasi dari modul sensor tegangan yang diuraikan dalam tabel 2.5.

Tabel 2.5 Spesifikasi *Module* Sensor Tegangan

Paremeter	Nilai
Variasi Tegangan Masukan	0 – 25 V
Jangkauan Deteksi Tegangan	0,02445 – 25 V
Tegangan Resolusi Analog	0,00489 V
Tegangan DC Masukan Antarmuka	Terminal Positif dengan VCC, negatif dengan GND
Output Interface	“+” Koneksi 5 V atau 3.3 V, “-“ terhubung GND, “S” terhubung Arduino pin Analog

Berikut merupakan gambar rangkaian elektronika dari sensor tegangan



Gambar 2.16 Rangkaian Elektronika Sensor Tegangan

2.11 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan.

Tabel 2.6 Penelitian Terdahulu

No	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1	Wicaksono, 2004	Metode : Kontroler PID pada Motor DC Hasil : <i>Error steady state</i> 0,144 detik, <i>maximum overshoot</i> : 0, <i>rise time</i> : 0,36 detik, dan <i>settling time</i> : 0,54 detik
2	Khakim, 2012	Metode : Kontroler PID pada Motor DC Hasil : Nilai <i>overshoot maximum</i> kurang dari 10%, <i>rise time</i> 2 detik dan <i>settling time</i> kurang dari 5% yang diperoleh pada $K_p= 27$, $K_i= 6$, dan $K_d= 40$
3	Waluyo, 2013	Metode : Kontroler PID pada Motor DC Hasil : Nilai $K_p = 1,1$, $T_i = 0,1$, $T_d = 3,7$. Dari parameter didapat <i>error steady state</i> 0,99 % dan dengan <i>settling time</i> 3,7 detik pada <i>rise time</i> 2,00 detik dan nilai <i>peak</i> terletak pada 0,99.
4	Rizeki, 2015	Metode : Kontroler PID pada Motor DC Nilai $K_p=1$, $K_i=1$, dan $K_d=4$. Didapatkan nilai <i>rise time</i> (t_r) = 1,6 detik, <i>peak time</i> (t_p)=3,2 detik, dan <i>settling time</i> (t_s)= 4 detik.

