

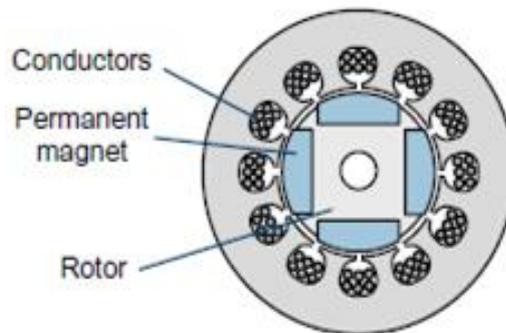
BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Motor BLDC

2.1.1 Prinsip Dasar Motor BLDC

Motor BLDC ini memiliki konfigurasi belitan yang ditempatkan pada sisi stator (bagian yang diam) dan magnet yang ditempatkan pada sisi rotor (bagian yang bergerak), seperti pada Gambar 2. 1 (S.-H. Kim, 2017).

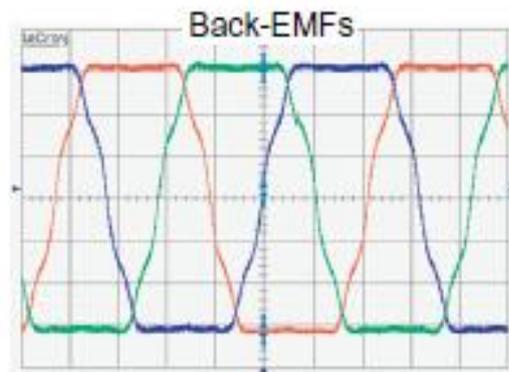


Gambar 2. 1 Konfigurasi motor BLDC

Sumber: (S.-H. Kim, 2017)

Motor BLDC merupakan salah satu jenis motor sinkron(Wahono & Sutikno, 2016). Oleh karena itu frekuensi rotor sama dengan frekuensi stator.

Ketika motor BLDC pada keadaan sirkuit terbuka kemudian diberi torsi konstan maka akan menghasilkan back-EMF trapezoidal seperti Gambar 2. 2. Oleh karena itu, agar torsi motor BLDC konstan maka perlu di suplai dengan arus yang sama seperti bentuk back-EMF. (S.-H. Kim, 2017)



Gambar 2. 2 Back-EMF motor BLDC

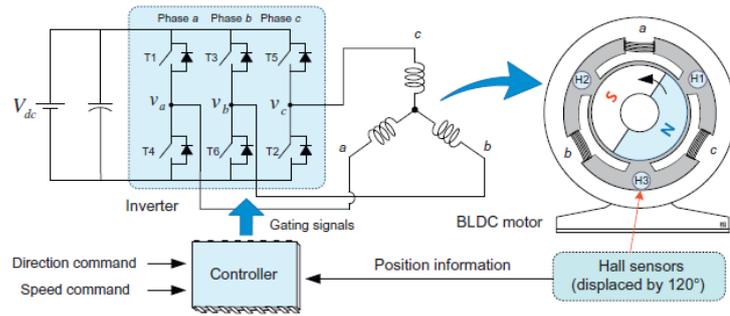
Sumber: (S.-H. Kim, 2017)

Back-EMF trapezoidal ini terjadi karena interkoneksi belitan dan jarak celah udara.

2.1.2 Prinsip *Driving* Motor BLDC

Prinsip penggerak (*driving*) motor BLDC adalah mengubah belitan fasa yang harus dieksitasi sesuai dengan posisi magnet permanen pada motor untuk menghasilkan torsi yang kontinu. Perubahan ini disebut commutation. Commutation terjadi setiap 60 *electrical degree*. Oleh karena itu untuk menyelesaikan satu *electrical cycle* (360 *electrical degree*) terdiri dari enam step yang berbeda atau sering disebut *six-step drive*.

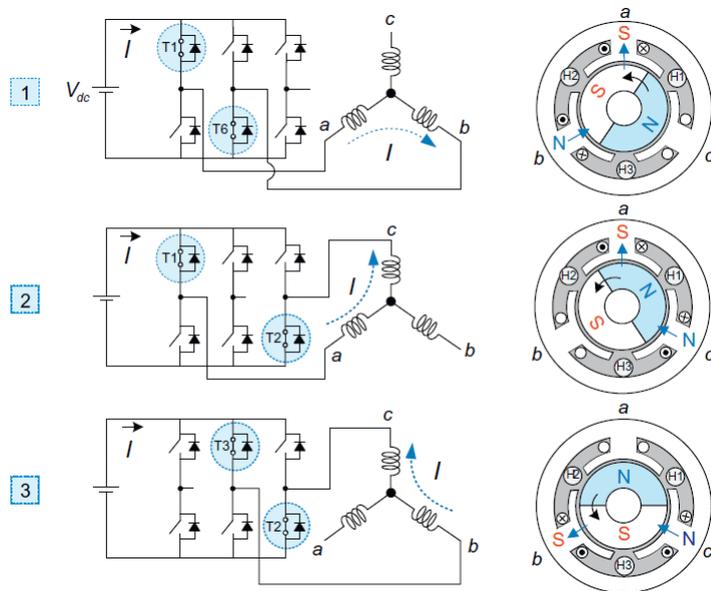
Untuk mengimplementasikan fungsi ini, informasi tentang posisi magnet rotor sangat diperlukan (S.-H. Kim, 2017). Commutation terjadi setiap 60 *electrical degree* oleh karena itu dibutuhkan informasi posisi setiap 60 *electrical degree*.

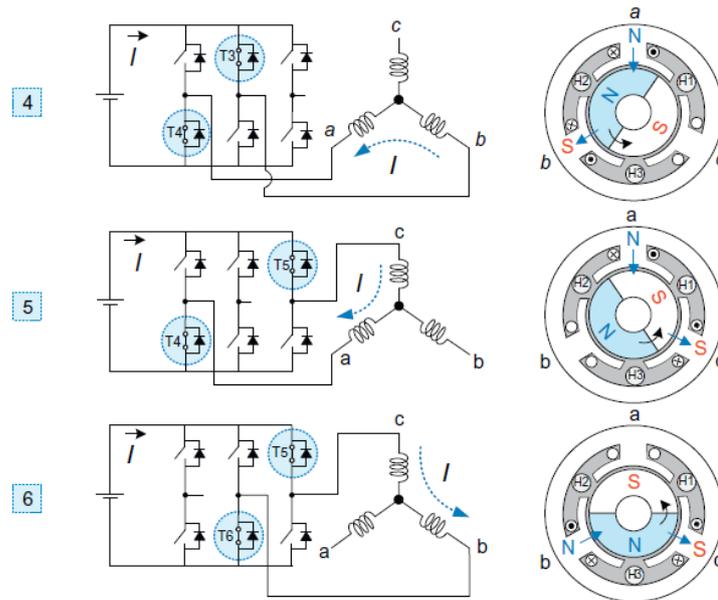


Gambar 2. 3 Sistem *drive* motor BLDC

Sumber: (S.-H. Kim, 2017)

Sistem penggerak motor BLDC satu pasang kutub tiga fasa terhubung-Y ditunjukkan pada Gambar 2. 3. Tiga sensor efek Hall yang diletakkan dengan jarak sebesar 120 *electrical degree* satu sama lain pada stator. Tiga sinyal keluaran sensor efek Hall memungkinkan kita mengenali posisi rotor yang dibagi menjadi enam bagian berbeda.

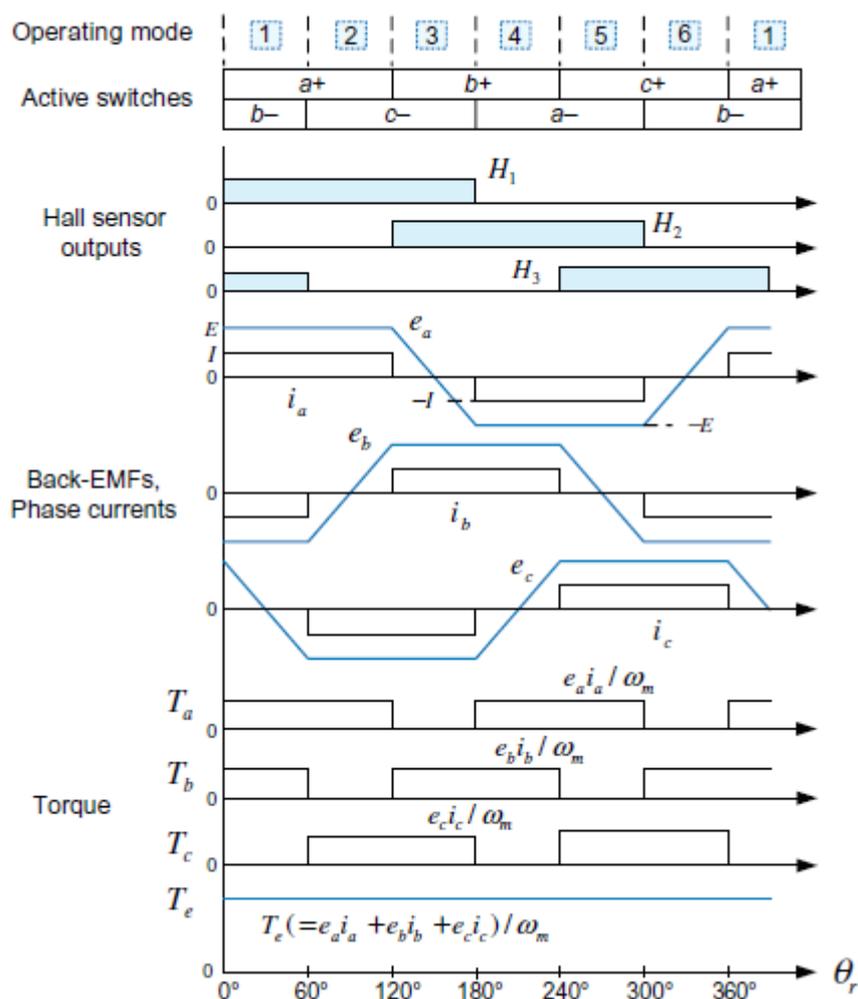




Gambar 2. 4 Urutan switching untuk motor BLDC tiga fasa satu pasang kutub

Sumber: (S.-H. Kim, 2017)

Urutan switching untuk *six-step drive* diilustrasikan pada Gambar 2. 4. Dalam penggerak motor BLDC terhubung-Y, hanya dua dari belitan tiga fasa yang dieksitasi, sedangkan belitan lainnya dibiarkan tanpa eksitasi.



Gambar 2.5 Prinsip *Driving* Motor BLDC satu pasang kutub

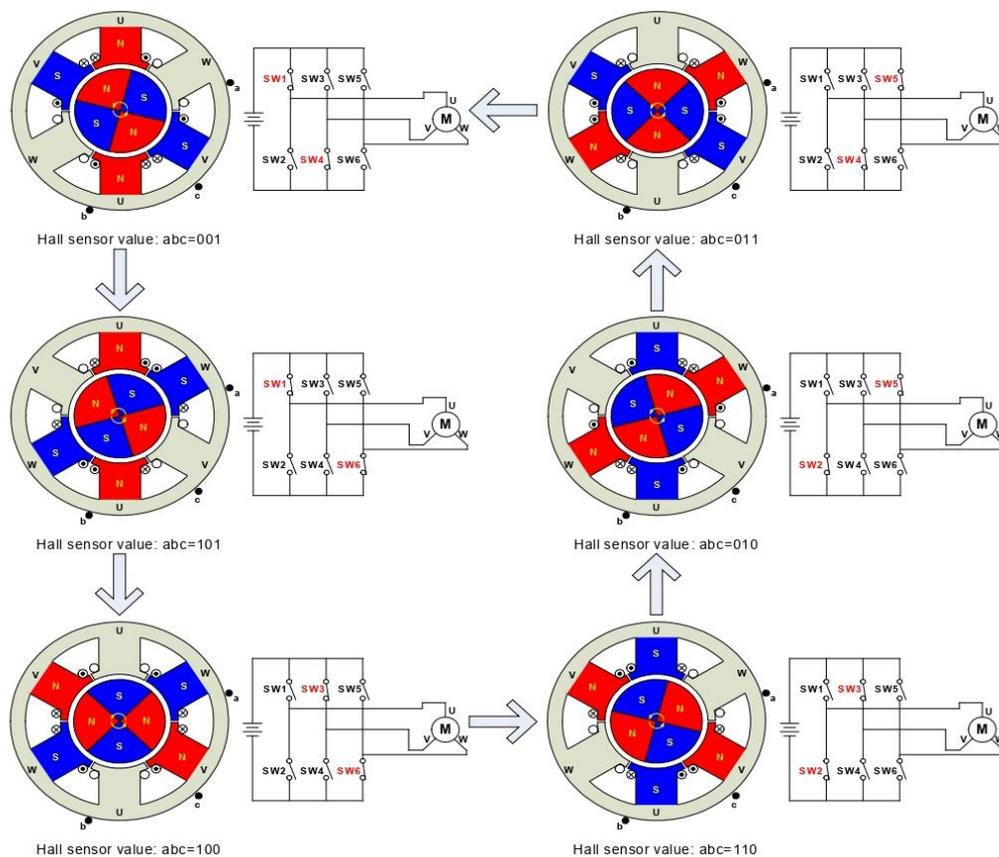
Sumber: (S.-H. Kim, 2017)

Gambar 2.5 mengilustrasikan sinyal input dan output dari sensor efek Hall (H1, H2, H3), Back-EMF, arus fase dalam *six-step drive* yang dihasilkan dari Gambar 2. 4. Di sini digunakan sensor hall dan asumsikan bahwa setiap sensor hall mengeluarkan level digital tinggi ketika mendeteksi kutub utara magnet, sedangkan sensor mengeluarkan level digital rendah ketika mendeteksi kutub selatan. Sensor Hall mengeluarkan output selama 180 *electrical degree* dengan beda fasa 120 *electrical degree*. Dengan output tersebut akan menghasilkan enam kode digital

yaitu 101, 001, 011, 010, 110 dan 100 (H3, H2, H1) dengan interval 60 *electrical degree*.

Pada Gambar 2.5 terlihat bahwa ada perpindahan komutasi setiap 60 *electrical degree* sehingga menghasilkan torsi kontinu (S.-H. Kim, 2017).

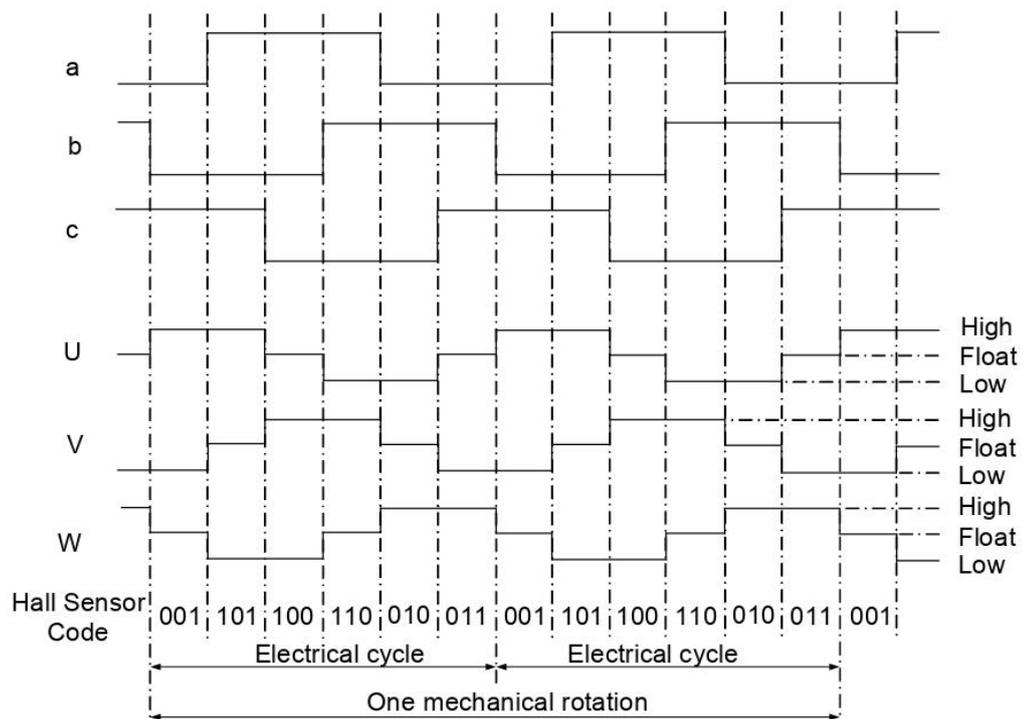
2.1.3 Jumlah Electrical Cycle dalam satu Mechanical rotation



Gambar 2. 6 Urutan switching untuk motor BLDC tiga fasa dua pasang kutub

Sumber: (Zhao & Yu, 2011)

Dari Gambar 2. 6 terlihat bahwa satu kali siklus *six-step* pada motor BLDC dua pasang kutub akan memutar 180° rotor. Oleh karena itu dibutuhkan dua kali siklus *six-step* untuk memutar 360°. Proses *driving* Motor BLDC kutub pasang kutub juga dapat dilihat pada Gambar 2. 7.



Gambar 2. 7 Prinsip *Driving* Motor BLDC dua pasang kutub

Sumber: (Zhao & Yu, 2011)

Dapat disimpulkan bahwa untuk mencapai satu *mechanical rotation* dibutuhkan jumlah *electrical cycle* yang sama dengan jumlah pasang kutub.

2.1.4 Motor BLDC A2212 1000KV



Gambar 2.8 Motor BLDC A2212 1000KV

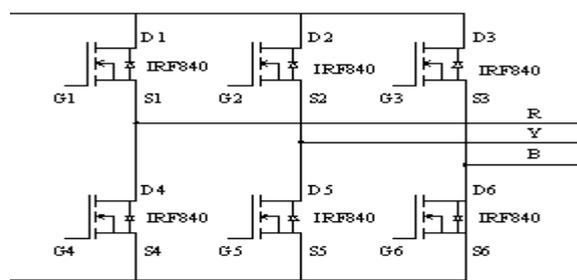
Sumber: (JSUMO, n.d.)

Pada Gambar 2.8 memperlihatkan Motor BLDC A2212 1000KV. Motor BLDC A2212 1000KV memiliki spesifikasi 3 fasa terhubung delta, tegangan maksimum 12,6 V dan arus maksimum 13A. (JSUMO, n.d.)

2.2 Inverter Tiga Fasa

Inverter adalah suatu alat yang dapat mengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC) dengan frekuensi dan tingkat tegangan yang dapat diatur (Rashid, 2014).

Rangkaian inverter dapat dilihat pada gambar 2.10:



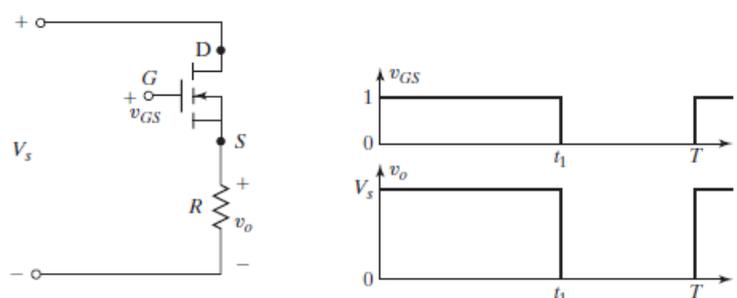
Gambar 2.1. Rangkaian inveter

Sumber: (Rashid, 2014)

2.3 Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET)

MOSFET daya adalah perangkat yang dikontrol tegangan dan hanya membutuhkan arus masukan yang kecil. Selama tegangan *gate* diterapkan, transistor tetap aktif dan beralih ke keadaan mati jika tegangan *gate* dilepas. Pensaklaran MOSFET dapat dilihat pada gambar 2.11. Tegangan *source-drain* dari transistor tipe-MOS (*Metal Oxide Semiconductor*) bergantung pada tegangan *gate* dan arus *gate* dapat diabaikan. Akibatnya, MOSFET tidak memerlukan arus *gate* apa pun dan daya *gate* untuk menggerakkan sakelar MOSFET ke wilayah *low*

resistance saturation dapat diabaikan. Karena alasan inilah transistor dengan dengan kontrol gate tipe MOS lebih disukai. (Rashid, 2014)



Gambar 2.2. Pensaklaran MOSFET

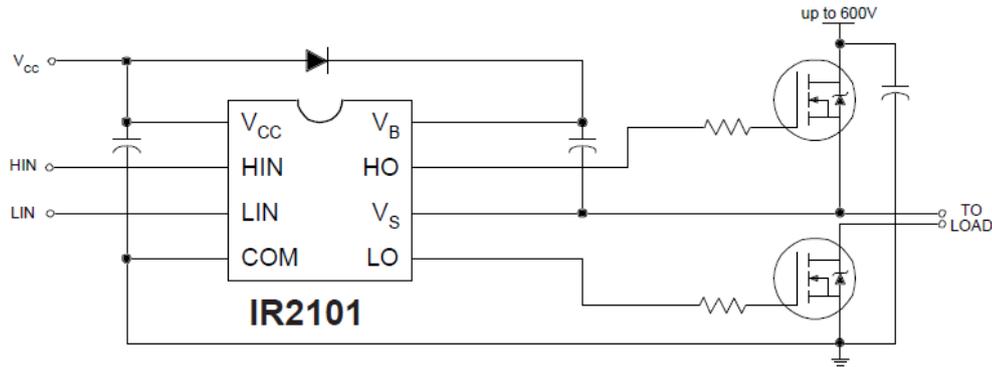
Sumber: (Rashid, 2014)

Transistor memiliki batasan tertentu dan dibatasi untuk beberapa aplikasi. Karakteristik dan peringkat setiap jenis harus diperiksa untuk menentukan kesesuaiannya dengan aplikasi tertentu (Rashid, 2014). Data karakteristik MOSFET dapat di lihat di datasheet.

MOSFET ini cocok jika di terapkan pada daya rendah (kurang dari 2 kW) dan daya sedang (2-500 kW). Kecepatan switching sangat tinggi dalam satuan nanodetik. MOSFET sering digunakan untuk aplikasi berfrekuensi tinggi. MOSFET tidak memiliki masalah fenomena kerusakan kedua seperti halnya BJT (Rashid, 2014).

2.4 Rangkaian Penyangga Transistor

Rangkaian penyangga adalah rangkaian yang dapat menghasilkan tegangan output sama dengan tegangan input.(Nurchahyana et al., 2015).



Gambar 2.9 Rangkaian Penyangga Trasistor Daya

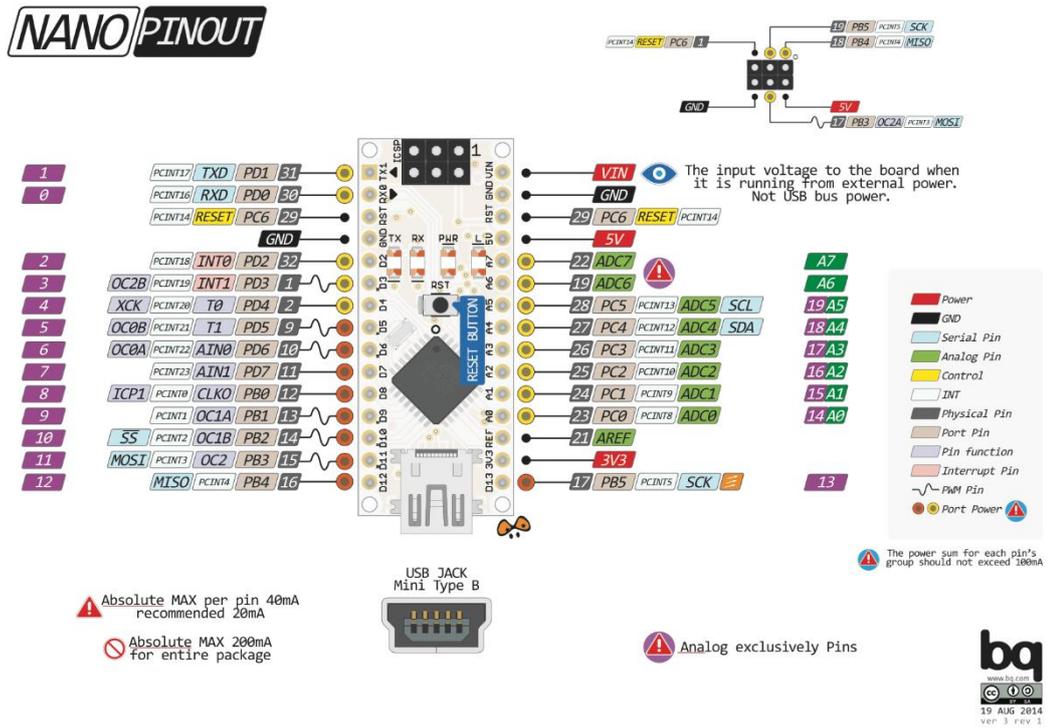
Sumber: (Datasheet IR2101)

Gambar 2.9 merupakan rangkaian penyangga trasisor daya yang menggunakan IR2101. IR2101 ini direkomendasikan untuk menggunakan power suplay (V_{cc}) 10-20V.

2.5 Arduino

Arduino merupakan *open-source prototyping platform* yang dibuat agar mudah digunakan, baik dari segi perangkat keras maupun perangkat lunaknya. Arduino memiliki banyak varian diantaranya arduino uno, arduino pro mini, arduino micro, arduino nano, arduino mega, arduino due, arduino gemma, lilypad arduino, dan lain-lain (Jufri, 2016).

Pinout arduino nano dapat dilihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.3. Pinout arduino nano

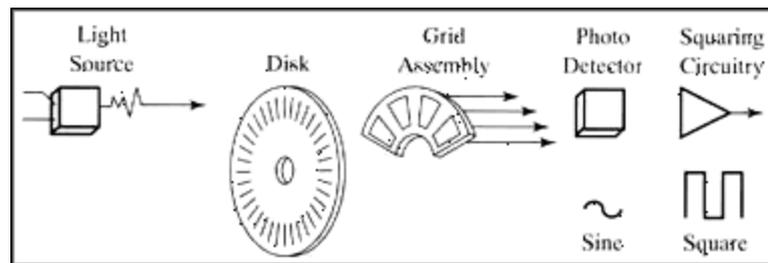
Mikrokontroler	Atmega328
Tegangan kerja	3,3V atau 5,5V
Tegangan masukan	5 - 12V (model 5V)
Pin I/O Digital	14 (6 diantaranya menyediakan keluaran PWM)
Pin masukan analog	6
Arus DC per jalur	40 mA
Kecepatan clock	16 MHz (model 5V)

Selain itu ada beberapa pin arduino pro mini yang memiliki fungsi khusus, yaitu:

- Pin 2 dan 3, digunakan untuk jalur interrupt eksternal.
- Pin 3, 5, 6, 9, 10, 11 menyediakan keluaran PWM 8-bit.

2.6 Rotary encoder

Rotary encoder adalah sebuah divais yang dapat mendeteksi gerakan dan posisi (Ermansyah, 2016). Rotary encoder umumnya tersusu dari beberapa komponen seperti pada Gambar 2. 10.



Gambar 2. 10 Rotatory encoder

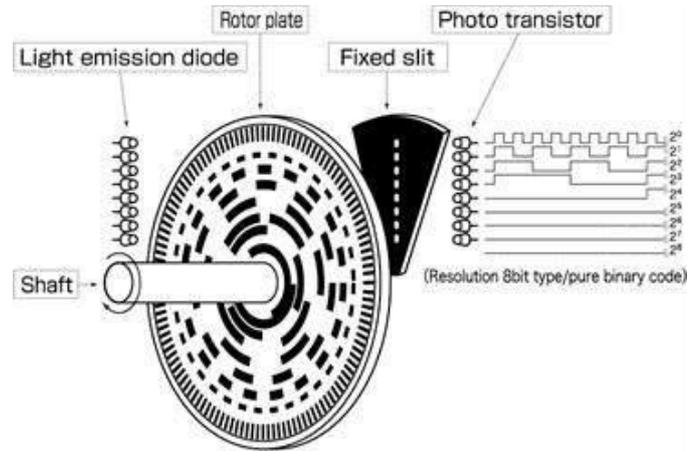
Sumber: (Ermansyah, 2016).

Ketika cahaya melewati piringan maka photodiode akan mendeteksi cahaya dan akan menghasilkan output LOW, begitupun sebaliknya. Piringan ini di-coupling dengan as motor, ketika motor berputar maka piringan juga berputar. Puratan ini akan menghasilkan suatu pulsa bergelombang persegi. Pulsa ini dapat menghasilkan informasi berupa posisi maupun kecepatan. (Ermansyah, 2016).

Rotary encoder terbagi menjadi 2 jenis yaitu *absolute rotary encoder* dan *incremental rotary encoder*.

2.6.1 Absolute Rotary Encoder

Absoluter rotary encoder ini menggunakan piringan yang memiliki beberapa track dengan pola unik yang terkonsentrasi pada pusat yang sama, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. 11. Hal ini akan menghasilkan kode digital yang berbeda satu sama lain untuk menyatakan sejumlah posisi tertentu (Ermansyah, 2016).

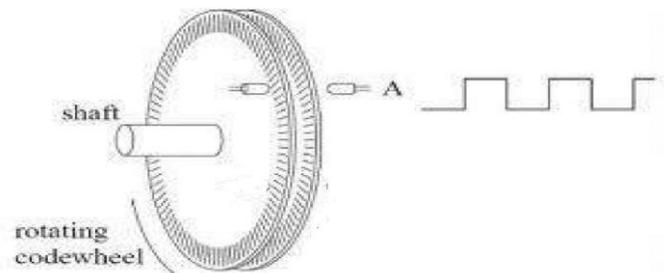


Gambar 2. 11 *Absolute Rotary Encoder*

Sumber: (Ermansyah, 2016).

2.6.2 *Incremental Rotary Encoder*

Incremental rotary encoder terdiri dari satu track. Ketika poros diputar maka akan menghasilkan pulsa bergelombang persegi seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.12 *Incremental Rotary Encoder*. Pulsa ini dapat diolah untuk menyatakan kecepatan dari putaran. (Ermansyah, 2016).



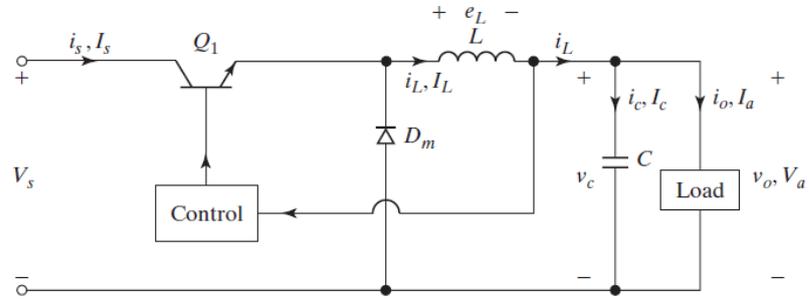
Gambar 2.12 *Incremental Rotary Encoder*

Sumber: (Ermansyah, 2016).

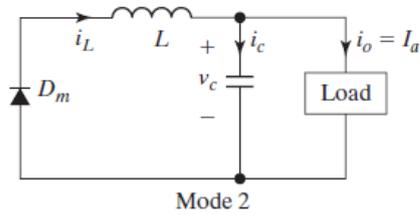
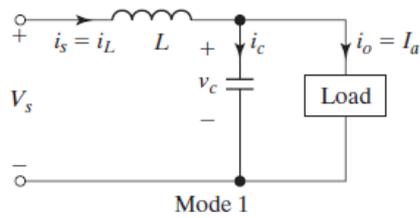
2.7 **Konverter Buck**

Konverter buck adalah konverter DC-DC yang dapat menurunkan tegangan. Pemilihan konverter buck didasarkan pada efisiensinya yang tinggi, rangkaianannya

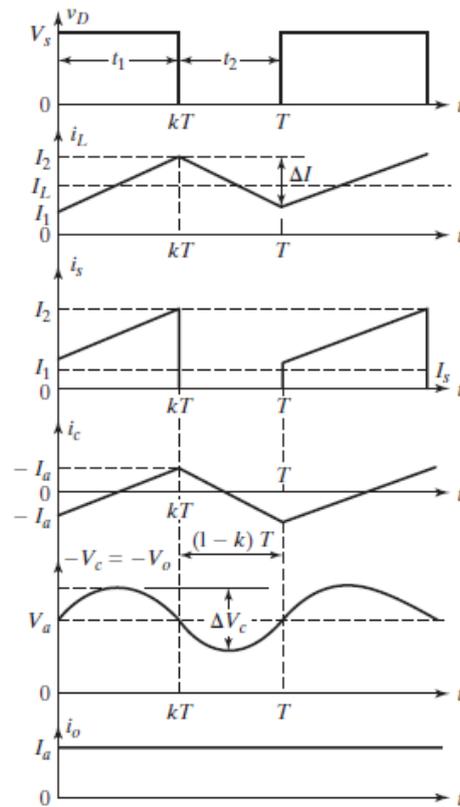
sederhana dan *ripple* yang rendah(Nyoman Wahyu Satiawan & Bagus Fery Citarsa, 2018).



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.13 konverter buck (a) diagram rangkaian (b) rangkaian *Equivalent* (c) gelombang

Sumber: (Rashid, 2014)

Gambar 2.13(a) merupakan rangkaian konverter buck. Operasi sirkuit dapat dibagi menjadi dua mode. Mode 1 dimulai ketika transistor Q_1 dihidupkan pada $t = 0$. Arus input, yang naik, mengalir melalui filter induktor L , filter kapasitor C , dan beban. Mode 2 dimulai ketika transistor Q_1 dimatikan pada $t = t_1$. Arus yang tersimpan dalam induktor, dan tegangan yang tersimpan dalam kapasitor akan terus mengalir ke beban melalui dioda D_m . Rangkaian ekivalen untuk mode operasi ditunjukkan pada Gambar 2.13(b). Bentuk gelombang untuk tegangan dan arus ditunjukkan pada Gambar 2.13(c). Diasumsikan bahwa arus naik dan turun secara

linier. Dalam praktiknya, rangkaian tersebut memiliki resistansi nonlinier. Resistansi linier ini umumnya dapat diabaikan di sebagian besar aplikasi (Rashid, 2014).

Tegangan yang melawati induktor L, umumnya memiliki persamaan:

$$e_L = L \frac{di}{dt} \quad (2.1)$$

Diasumsikan, arus induktor naik secara linier dari I_1 ke I_2 dalam waktu t_1 ,

$$V_s - V_a = L \frac{I_2 - I_1}{t_1} = L \frac{\Delta I}{t_1} \quad (2.2)$$

Atau

$$t_1 = \frac{\Delta I L}{V_s - V_a} \quad (2.3)$$

Arus induktor turun dari I_2 ke I_1 dalam waktu t_2 ,

$$-V_a = -L \frac{\Delta I}{t_2} \quad (2.4)$$

Atau

$$t_2 = \frac{\Delta I L}{V_a} \quad (2.5)$$

Periode (T) pensakelaran dapat dituliskan dengan persamaan:

$$T = \frac{1}{f} = t_1 + t_2 = \frac{\Delta I L}{V_s - V_a} - \frac{\Delta I L}{V_a} = \frac{\Delta I L V_s}{V_a(V_s - V_a)} \quad (2.6)$$

Dimana riak puncak ke puncak arus induktor dapat ditulis:

$$\Delta I = \frac{V_a(V_s - V_a)}{f L V_s} \quad (2.7)$$

Dengan menggunakan hukum arus Kirchhoff, maka arus induktor dapat dituliskan:

$$i_L = i_c + i_o \quad (2.8)$$

Jika diasumsikan riak arus beban Δi_o sangat kecil dan bisa diabaikan, maka $\Delta i_L = \Delta i_c$. Rata-rata arus kapasitor, yang mana mengalir pada $T/2$ yaitu:

$$I_c = \frac{\Delta I}{4} \quad (2.9)$$

Persamaan tegangan kapasitor:

$$v_c = \frac{1}{C} \int i_c dt + v_c(t = 0) \quad (2.10)$$

Maka riak puncak ke puncak tegangan kapasitor dapat dituliskan:

$$\Delta V_c = v_c - v_c(t = 0) = \frac{1}{C} \int_0^{T/2} \frac{\Delta I}{4} dt = \frac{\Delta I T}{8C} = \frac{\Delta I}{8fC} \quad (2.11)$$

Substitusi nilai ΔI dari persamaan 2.7 ke persamaan 2.11 maka:

$$\Delta V_c = \frac{V_a(V_s - V_a)}{8LCf^2 V_s} \quad (2.12)$$

2.8 Baterai

Baterai adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang mengubah kimia menjadi energi listrik dan sebaliknya. (Thowil Afif & Ayu Putri Pratiwi, 2015).

Terdapat dua jenis baterai berdasarkan posesrnya, yaitu:

- Primary Battery

Primary battery Merupakan baterai yang dapat di gunakan sekali saja (tidak bisa di isi ulang).

- Secondary battery

Secondary battery merupakan baterai yang dapat diisi ulang. Proses kimia yang terjadi bersifat reversibelnya di dalam baterai dapat berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (proses pengisian) dengan cara proses regenerasi dari elektroda - elektroda yang dipakai yaitu, dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan. Pada baterai ini digunakan bahan yang dapat kembali ke kondisi semula.

Terdapat banyak jenis *secondary battery*, salah satu adalah Baterai Litium-Polymer (LiPo). Baterai Litium-Polymer memiliki masa yang lebih ringan, kapasitas tinggi, laju *discharge* yang jauh lebih tinggi.

2.9 Proportional Integral Derivative (PI)

2.9.1 Pengertian dan Implementasi

Salah satu kendali yang sering digunakan untuk sistem kendali *close loop* adalah *Proportional Integral Derivative* (PI). Kendali PI ini sering digunakan karena sangat efektif, implementasinya sederhana, luas penggunaannya,

ketahanannya yang tinggi (Bhat et al., 2020)(Irawan & Perdana SS, 2020). Penggunaan PI tidak memerlukan memori pemrosesan yang besar, sehingga sangat cocok untuk diterapkan dalam sistem *embedded* yang mempunyai memori terbatas (Setyawan et al., 2015).

Sistem kendali PI merupakan sebuah sistem kendali *closed-loop* dimana suatu *feedback* berupa tingkat kesalahan suatu variabel proses digunakan. Tingkat kesalahan ini kemudian dikalikan dengan gain proporsional, gain integral, dan gain derivatif untuk menghasilkan output yang sesuai dengan nilai variabel proses yang kita inginkan(Purbowaskito & Hsu, 2017).

Komponen dasar kendali PI terdiri dari (Setiawan, 2008):

- Kontrol Proporsional (P): berfungsi untuk mempercepat respon
- Kontrol Integral (I): berfungsi untuk menghilangkan error steady
- Kontrol Derivative (D): berfungsi untuk memperbaiki sekaligus mempercepat respon transien.

Persamaan PI ideal sebagai berikut:

$$CO(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.14)$$

Di mana:

$CO(t)$: output kontroler

$e(t)$: selisih antara set point dengan nilai output proses

K_P : gain proporsional

T_I : time integral

K_I : gain integral (K_P/T_I)

T_D : time derivative

K_D : gain derivative ($K_P * T_D$)

Berikut merupakan kode program (*sketch*) pada arduino dari penerapan persamaan 2.14:

```

error = set-pv;

co_p = kp*error;           //hitung output kontrol Proporsional
co_i = co_i+ki*tc*error;   //hitung output integral
co_d = kd*(error -prev_error)/tc; //hitung output diferensial
co = co_p+co_i +co_d;      //hitung output PI
prev_error=error;         //geser error

```

Dimana:

error = error kecepatan

set = kecepatan yang di inginkan

pv = kecepatan yang terukur

tc = waktu pengambilan sampel

prev_error = error sebelumnya

kp = gain proporsional

ki = gain integral

kd = gain derivative

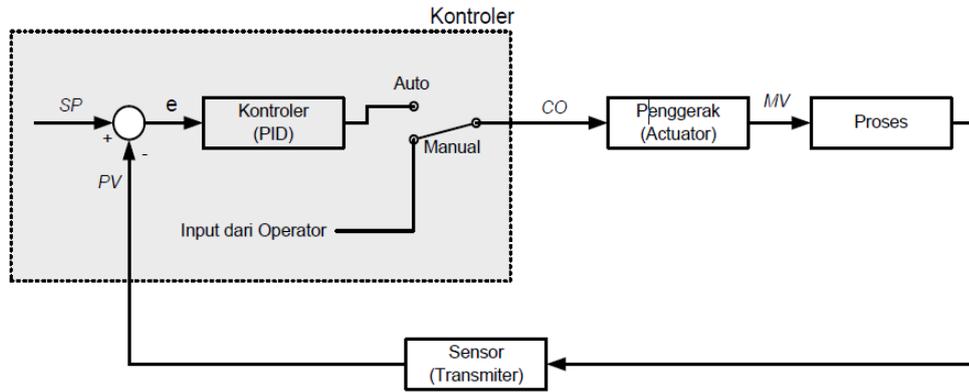
2.9.2 Pehitungan Parameter K_p dan K_i

Model self regulating process (model proses yang bersifat stabil) pada dasarnya dapat didekati oleh sebuah model matematis FOPDT (First Order Plus Dead Time) yang dicirikan oleh tiga buah parameter berikut:

1. Process transport delay (delay atau keterlambatan transportasi proses) - L
2. Process time constant (konstanta waktu proses) - T

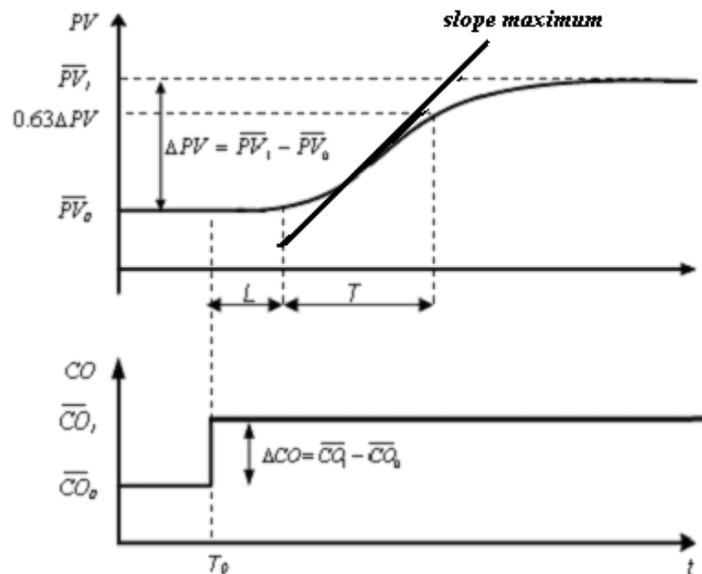
3. Process static gain (gain statis proses) – K

Ketiga parameter di atas dapat diperoleh atau diidentifikasi melalui eksperimen sederhana Bump test.



Gambar 2.14 Eksperimen *bump test* pada mode kontrol manual (loop terbuka)

Seperti yang ditunjukan Gambar 2.14, eksperimen bump test dilakukan dengan cara memberikan perubahan tangga (step) sinyal control output (CO) oleh operator.



Gambar 2.15 Respon tangga pada eksperimen *bump test* untuk model FOPDT

Sumber: (Setiawan, 2008)

Gambar 2.15 merupakan grafik hubungan sebab akibat antara perubahan sinyal output kontroler (sebagai input proses) dengan variabel output proses hasil dari eksperimen *bump test* untuk model proses FOPDT.

Berdasarkan Gambar 2.15, parameter-parameter proses FOPDT dapat dicari, seperti

1. Process Transport delay (keterlambatan transportasi proses) - L

Waktu keterlambatan transportasi atau waktu ketidakpastian yang terjadi pada proses dihitung sejak terjadi perubahan tangga pada CO sampai variabel proses (PV) yang dikontrol mulai menanggapi perubahan input CO tersebut.

2. Process Time Constant (Konstanta waktu proses) - T

Waktu yang diperlukan sehingga nilai PV mencapai kurang lebih 63% dari keadaan steady akhirnya. Perhitungan nilai konstanta waktu dimulai sejak PV mulai menanggapi perubahan CO (setelah waktu tunda berlalu).

Nilai konstanta waktu proses ini secara langsung juga mempengaruhi waktu cuplik (T_c) yang harus digunakan/dipilih pada sebuah kontroler digital komersil (sistem DCS atau PLC). Agar tidak terjadi aliasing, waktu cuplik yang digunakan atau dipilih pada kontroler digital harus jauh lebih kecil dari konstanta waktu proses yang akan dikontrol (nilai t_c yang dipilih umumnya paling tidak sebesar $0.1T$).

$$t_c = 0,1T \quad (2.15)$$

3. Process static gain (gain statis proses) – K : Gain statis proses adalah perbandingan perubahan PV terhadap perubahan CO dalam keadaan steady-nya:

$$K = \frac{\Delta PV}{\Delta CO} = \frac{PV_1 - PV_0}{CO_1 - CO_0} \quad (2.16)$$

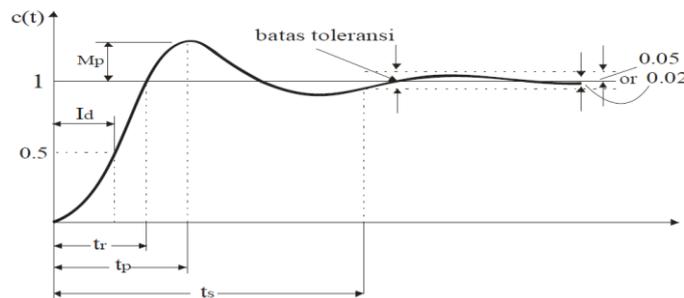
Tabel 2.1 Beberapa metode *tuning* kontrol PI ideal untuk proses FOPDT

Metode	K_p	K_i
Chien-Regulator	$\frac{0,6 \cdot T}{K \cdot L}$	$\frac{K_p}{4L}$
Chien-Servo	$\frac{0,35 \cdot T}{K \cdot L}$	$\frac{K_p}{1,17 \cdot L}$
Ziegler-Nichols	$\frac{0,9 \cdot T}{K \cdot L}$	$\frac{K_p}{3,33 \cdot L}$

Tabel 2.1 memperlihatkan beberapa metode yang dapat digunakan sebagai *tuning* nilai parameter K_p dan K_i untuk proses FOPDT.

2.9.3 Spesifikasi Respons Transien

Respons transien adalah respons yang diamati dari awal terjadinya perubahan sinyal input atau gangguan atau beban sampai terjadinya keadaan *steady state c*.



Gambar 2.16 Kurva Respons Transien

Sumber: (Setiawan, 2008)

Pada Gambar 2.16 memperlihatkan kurva respons transien yang terdiri dari:

1. *Maximum overshoot (Mp)* atau *overshoot*

Maximum overshoot atau *overshoot* adalah nilai puncak dari respons dalam bentuk persen.

2. *Settling time (ts)*

Settling time adalah waktu yang dibutuhkan kurva respons untuk mencapai nilai akhir dan memiliki range tetap terhadap angka akhir, biasanya 2% atau 5%.

2.10 Penelitian Terkait

Beberapa penelitian terkait kendali motor BLDC menggunakan PI telah dilakukan sebelumnya, seperti pada tabel 2.1.

TABEL 2.1.

Beberapa penelitian terkait motor BLDC menggunakan PI

Judul	Penulis, tahun	Pembahasan
Kontrol Motor Brushless DC Menggunakan <i>Six step Comutation</i> dengan Kontrol PI (Proportional Integral Derivative)	(Anugrah, 2020)	Penelitian dilakukan dengan simulasi menggunakan software PSIM. Pada penelitian ini digunakan skema kendali PWM in Inverter (rangkaiannya inverter saja).
Pengaturan Kecepatan Motor Brushless DC dengan PI Menggunakan Metode Root Locus	(Sihombing, 2020)	Penelitian dilakukan dengan simulasi (software Matlab Simulink). Metode <i>tuning</i> parameter PI yang digunakan yaitu metode Root Locus.
Implementasi dan Analisis Kendali Kecepatan Motor Bldc 1 KW Menggunakan Algoritma Pi	(Ardiansyah & Rohman, 2019)	Penelitian dilakukan secara simulasi (software Matlab Simulink) dan eksperimen secara langsung dengan menggunakan motor BLDC 1 kW. Pada penelitian ini digunakan skema kendali PWM in Inverter. Metode <i>tuning</i> parameter PI yang digunakan yaitu metode <i>trial and error</i> .
Rancang Bangun Pengendalian Kecepatan <i>Brushless Dc</i> Motor Tipe A2212/10t 1400 KV Menggunakan Kontroler PI Berbasis Labview	(Pratama & Endryansyah, 2018)	Penelitian dilakukan dengan simulasi (software Labview) dan secara langsung dengan motor BLDC A2212/10t 1400 KV untuk mesin bubut. Pada penelitian ini digunakan skema kendali PWM in Inverter.

			Metode <i>tuning</i> parameter PI yang digunakan yaitu metode analitik.
Sistem Kendali <i>Proportional Integral Derivative</i> Kecepatan Motor <i>Brushless DC</i> dengan Sensor Kecepatan Putar	(Putra, 2013)		Penelitian dilakukan dengan simulasi (software Matlab Simulink) dan secara langsung dengan motor BLDC 500 W. Metode <i>tuning</i> parameter PI yang digunakan yaitu metode Ziegler Nichlos.

Yang membedakan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya yaitu penelitiannya diimplementasikan secara langsung pada motor BLDC. Selain itu pada penelitian ini akan di gunakan *Variable DC Link to Inverter* (rangkaiannya konverter DC-DC dan inverter) yang berbeda dengan *PWM in Inveter* (rangkainnya inverter saja) yang di lakukan pada penelitian sebelumnya (Anugrah, 2020; Ardiansyah & Rohman, 2019; Pratama & Endryansyah, 2018; Sihombing, 2020). Dengan menggunakan *Variable DC Link to Inverter* maka kontrol tegangan dan *commutation* dapat dilakukan secara independen sehingga dapat menggunakan dua mikrokontroler yang berbeda (hal ini menjadi kelebihan karena penggunaan interup untuk *communitation* tidak akan mengganggu proses kontrol tegangan untuk penstabilan kecepatan), *losses switching* pada inverter dapat dikurangi (Jacob & Aishwarya, 2016; Pawar et al., 2017; Singh & Bist, 2015) dan dapat memberikan performa yang lebih stabil dari pada skema *PWM in Inverter* (K.-H. Kim & Youn, 2002).