

Pengendalian Kecepatan Motor DC Menggunakan Konverter DC-DC Chopper Tipe Boost Converter Berbasis PID

Yodhi Aulia Randa¹, Suriadi², Mahdi Syukri³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No.7, Darussalam, Banda Aceh, 23111, Aceh, Indonesia

¹yodhiranda@gmail.com

²suriadimali@usk.ac.id

³mahdisyukri@usk.ac.id

Abstrak— Desain pengendalian kecepatan motor DC menggunakan boost converter dengan pengontrolan berbasis PID dimana hal ini dilakukan untuk dapat mengendalikan kecepatan motor DC menggunakan boost converter dengan bantuan PID sehingga menghasilkan keluaran dari proses pengontrolan yang lebih cerdas, efisien dan efektif dalam menjaga kestabilan putaran motor DC, serta dapat mengetahui perbedaan dan pengaruh keluaran Ketika hanya menggunakan boost converter dan ketika diimplementasikan dengan pengontrolan PID. Kontrol motor dilakukan dengan kondisi torsi yang berbeda-beda. Hasil yang diharapkan adalah pengendalian kecepatan motor dengan pengontrolan PID dan performanya pada saat starting serta terhadap perubahan referensi kecepatan putaran dan beban sesuai dengan set point yang ditetapkan. Dari percobaan di dapatkan boost converter dapat menaikkan tegangan sesuai dengan perubahan torsi beban, pengontrolan PID dapat menghilangkan overshoot pada sistem dan dapat mencapai kecepatan referensi dengan cepat hanya memerlukan waktu 1 detik. Berdasarkan analisa data yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa boost converter dengan pengendali PID berfungsi cukup baik untuk mengatur kecepatan motor DC tetap pada kecepatan referensi.

Kata kunci— DC motor, DC-Chopper, boost converter, Converter.

I. PENDAHULUAN

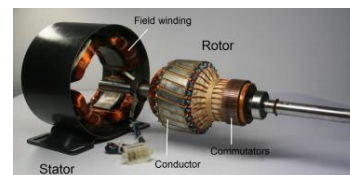
Seiring dengan perkembangan kemajuan industri teknologi kelistrikan pada era yang semakin maju pengontrolan pada peralatan listrik sangat diperlukan sehingga tidak dapat dipisahkan lagi dari kehidupan sehari-hari. Pada saat ini motor DC menjadi salah satu alat yang sangat penting perannya sebagai penggerak mesin generator untuk menghasilkan energi pada suatu sistem. Motor DC membutuhkan suplai tegangan searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Karena fenomena beda tegangan pada kedua terminal tersebut, motor akan berputar pada satu arah, dan apabila polaritas dari tegangan tersebut dibalik maka arah putaran motor akan terbalik pula, polaritas dari tegangan yang diberikan pada dua terminal menentukan arah putaran motor sedangkan besar dari beda tegangan pada kedua terminal menentukan kecepatan motor. Konverter DC ke DC adalah peralatan yang menghasilkan tegangan atau arus dc yang juga berasal dari suatu sumber tegangan dc. Era

teknologi elektronika daya yang semakin berkembang telah menemukan sebuah solusi untuk mengatur tegangan searah (DC) diubah menjadi tegangan DC yang lebih besar atau lebih kecil dari pada sebelumnya baik itu dari sisi masukan ataupun pada sisi pengeluaran. DC chopper mempunyai beberapa jenis, yaitu DC chopper 4 kuadran, DC chopper 2 kuadran dan DC chopper 1 kuadran. Dalam penelitian ini diusulkan menggunakan DC chopper betipe boost converter untuk mengendalikan kecepatan motor untuk jenis operasi motoring.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Motor DC

Motor arus searah (DC) telah banyak digunakan dalam drive, karena kecepatan yang dapat disesuaikan atau kontrol torsi variabel, sehingga torsiya mudah dikendalikan. Motor DC adalah motor yang mengubah arus searah menjadi kerja mekanis. Sebuah motor DC memiliki dua kumparan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 [3].

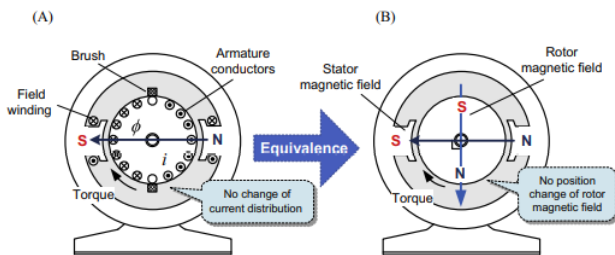


Gambar 1 Konfigurasi Motor DC [3]

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa kumparan pertama ditemukan di stator yang berfungsi untuk menghasilkan medan magnet (*fluks*) dan kumparan kedua di rotor. Arus rotor akan berinteraksi dengan *fluks* medan stator untuk menghasilkan torsi pada poros rotor. Konsep sederhana dari putaran motor DC adalah bahwa rotor berputar dengan menggunakan gaya yang dihasilkan pada konduktor pembawa arus yang ditempatkan di medan magnet yang dibuat oleh stator. Operasi motor DC dapat dilihat dari sudut pandang dua medan magnet seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Dari Gambar 2 dapat dilihat ada dua medan magnet stasioner dalam motor DC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 (B). Salah satu medan magnet stasioner adalah

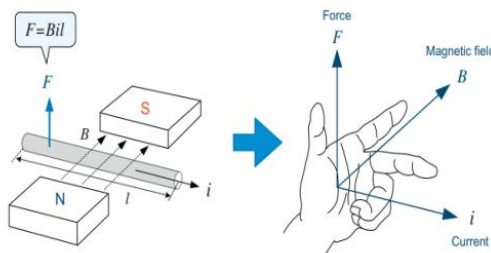
medan magnet stator dan yang lainnya adalah medan magnet rotor yang dihasilkan oleh arus di konduktor rotor. Penting untuk dicatat bahwa medan magnet rotor juga stasioner meskipun rotor berotasi. Hal ini disebabkan oleh *brush* dan komutator, dimana distribusi dalam konduktor rotor selalu dibuat sama terlepas dari rotasi rotor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 (A). Dengan demikian medan magnet rotor tidak akan berputar bersamaan dengan rotor. Interaksi yang konsisten antara kedua medan magnet stasioner ini menghasilkan torsi, yang menyebabkan rotor berputar terus menerus.



Gambar 2 Prinsip Operasi Motor DC. (A) Arus Rotor dan Medan Magnet Stator dan (B) Dua Medan Magnet [3]

B. Torsi Motor DC

Torsi didefinisikan sebagai gaya yang cenderung menghasilkan rotasi. Fungsi dari torsi di motor DC adalah untuk memberikan output mekanis atau *drive* pada motor DC ketika tegangan diterapkan ke motor, arus akan mengalir melalui medan berliku, membangun medan magnet [2].



Gambar 3 Gaya yang timbul pada konduktor yang dialiri arus dalam medan magnet [3]

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 ketika konduktor panjang (l) membawa arus (i) ditempatkan dalam medan magnet seragam (B), gaya yang bekerja pada konduktor. Demikian pula, pada motor DC, torsi yang dialami oleh konduktor pematangan membawa i_a saat ini dalam fluks magnet stator seragam ϕ_f diberikan oleh persamaan 1, dimana k_T adalah konstanta torsi ($\text{Nm} / \text{Wb} / \text{A}$), ϕ_f merupakan fluks magnet stator, dan i_a adalah arus stator [3].

$$T_e = k_T \times \phi_f \times i_a \quad (F = Bli) \quad (1)$$

Sangat menarik untuk dicatat bahwa torsi motor DC dapat dinyatakan sebagai produk aritmatika sederhana dari fluks magnet stator ϕ_f dan i_a saat ini yang sudah jatuh tempo. Hal ini karena fluks magnet stator ϕ_f dan konduktor yang membawa i_a saat ini selalu tegak lurus satu sama lain. Dengan

demikian motor DC memiliki torsi maksimum per karakteristik ampere. Ketika motor DC dengan torsi output seperti pada persamaan 1 untuk menggerakkan sistem beban mekanis, maka kecepatan rotor dapat ditentukan dari persamaan gerak pada persamaan 2, dengan ω_m adalah kecepatan sudut rotor, T_L didefinisikan sebagai torsi beban, J adalah inersia, dan B merupakan koefisien gesekan [3].

$$T_e = J \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m + T_L \quad (2)$$

Dari model dinamis di atas diwakili oleh persamaan (1) dan (2), kita dapat memahami steady-state serta karakteristik sementara arus dan kecepatan dalam sistem penggerak motor DC.

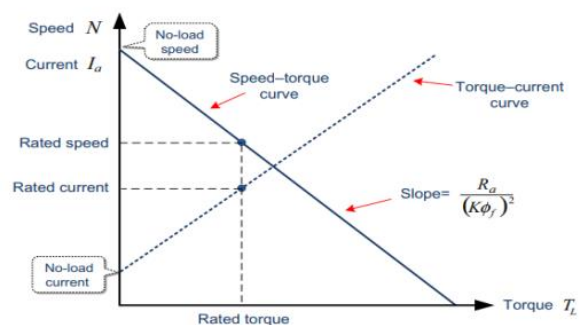
C. Karakteristik Steady State Motor Dc

Istilah *Steady-State* mengacu pada kondisi yang ada setelah semua transien awal atau kondisi berfluktuasi telah teredam. Perilaku *steady-state* motor DC mudah ditentukan dengan membuat turunan waktu dari variabel dalam persamaan (1) dan (3). Dari persamaan steady-state, hubungan kecepatan dan torsi dapat ditulis seperti persamaan 3, dimana K merupakan konstanta yang berhubungan dengan konstruksi motor dc, T sebagai torsi yang diinduksi (N.m), dan R_a adalah *armature resistance* [3].

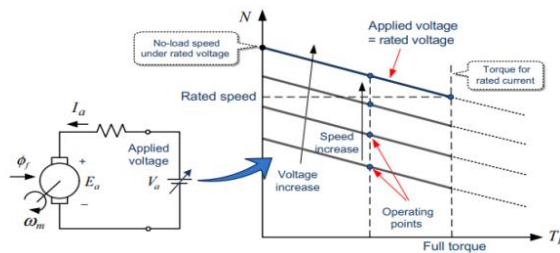
$$\omega_m = \frac{V_a}{k\phi_f} - \frac{R_a}{(k\phi_f)^2} \times T_L \quad (k = k_T = k_e) \quad (3)$$

Persamaan 3 menyiratkan bahwa kecepatan steady state motor DC dapat disesuaikan dengan tegangan anker (V_a) atau fluks medan stator (ϕ_f). Dengan demikian ada dua metode kontrol kecepatan untuk motor DC: kontrol tegangan anker dan kontrol fluks medan. Selain dua metode, kita dapat melihat dari persamaan 3 bahwa kecepatan dapat dikontrol dengan memvariasikan resistensi anker (R_a). Namun, metode yang tidak efisien ini tidak lagi digunakan.

Seperti yang ditunjukkan pada **Error! Reference source not found.**, Kita dapat melihat bahwa, dari hubungan kecepatan torsi ini, kecepatan motor DC menurun dengan konstan dengan peningkatan torsi beban (atau arus anker). Di sini, N adalah kecepatan yang dinyatakan dalam hal revolusi per menit (rpm) untuk kecepatan sudut ω_m . Dari kurva, kita dapat menemukan kecepatan dan arus pada nilai beban tertentu.



Gambar 4 Karakteristik Torsi Kecepatan Motor Dc dalam keadaan Stabil [3]



Gambar 5 Kontrol Tegangan Angker [3]

Dari Gambar 5 kita dapat melihat karakteristik kontrol kecepatan motor DC dengan kontrol tegangan angker dan kontrol fluks armature. Dengan fluks medan stator konstan, dengan memodifikasi persamaan 2.3 yang mengekspresikan karakteristik kecepatan torsi, sehingga didapatkan persamaan 4 dimana R_a merupakan tahanan Armatur (Ω), V_a didefinisikan sebagai tegangan Armatur (V), T_L adalah torsi beban total (Nm), dan ω_m merupakan kecepatan sudut rotor (rps).

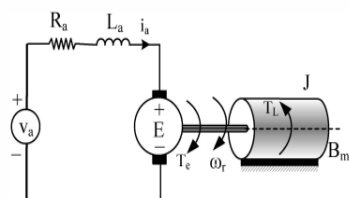
$$\omega_m = \frac{V_a}{k\phi_f} - \frac{R_a}{(k\phi_f)^2} \times T_L = K_1 V_a - K_2 T_L \quad (4)$$

Dari ekspresi ini, kita dapat melihat bahwa kecepatan (ω_m) dari motor DC dapat berubah secara linear dengan mengatur tegangan angker (V_a). Dengan demikian, untuk beban torsi konstan seperti lift dan crane, kecepatan beban dapat dikontrol secara linear dengan menyesuaikan tegangan angker V_a dari motor DC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Untuk mengontrol tegangan armatur catu daya DC harus variabel seperti penyearah yang dikendalikan fase. Karena tegangan yang lebih tinggi dari tegangan yang ditetapkan tidak boleh diterapkan pada motor, metode kontrol tegangan angker ini dapat memberikan rentang kontrol kecepatan hanya sampai dengan kecepatan yang sudah ditetapkan. Untuk beroperasi dalam rentang kecepatan yang ditetapkan, motor DC harus mengadopsi kontrol fluks medan. Bagaimanapun, pada Motor DC magnet permanen tidak dapat menggunakan metode kontrol fluks medan, sehingga mereka tidak mampu operasi di atas kecepatan yang ditetapkan.

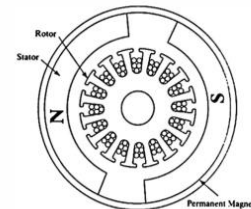
D. Model Matematis Motor DC Permanen Magnet

Sirkuit dari motor DC permanen magnet yang sering digunakan untuk tuning kecepatan dan penyesuaian posisi menggunakan metode kontrol tegangan angker, ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Rangkaian Ekuivalen dari Motor DC Permanen Magnet [6]

Eksitasi eksternal yang disediakan oleh motor DC magnet permanen seperti keramik, alnico dan varietas tanah jarang serta samarium-kobalt dan magnet boron-besi-neodymium. Keuntungan dari eksitasi semacam itu terdiri dari kekompakan struktur medan dan penghapusan kerugian resistif di medan. Fitur-fitur ini berkontribusi pada mesin yang ringkas, sehingga fitur yang diinginkan untuk motor DC berkinerja tinggi. Penampang motor PMDC ditampilkan dalam Gambar 7. Perhatikan bahwa angker mirip dengan motor DC lainnya dalam konstruksi dan kinerja.



Gambar 7 Penampang Motor DC Permanen Magnet [6]

Dari Gambar 6 dapat dilihat persamaan dinamis untuk mengatur pengoperasian motor DC ditunjukkan persamaan 5 dan persamaan 6 berikut [6].

$$V_a = R_a \times i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + E; E = k_v \times \omega_m \quad (5)$$

$$T_e = k_a \times i_a + J \frac{d\omega_m}{dt} + B_m \times \omega_r + T_L \quad (6)$$

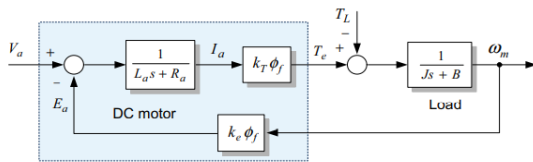
Kemudian untuk model matriks dari motor PMDC diberikan dalam persamaan 7 dimana parameter motor diperkenalkan pada Tabel 1 [6].

$$\begin{bmatrix} \frac{di_a}{dt} \\ \frac{d\omega_m}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_a}{L_a} & -\frac{k_v}{L_a} \\ \frac{k_T}{J} & -\frac{B_m}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ \omega_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_a} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ T_L \end{bmatrix} \quad (7)$$

TABEL I
KETERANGAN RANGKAIAN EKIVALEN MOTOR DC PERMANEN MAGNET

Parameter	Abbreviation	Unit
Armature Resistance	R_a	Ω
Armature Inductance	L_a	H
Armature Current	I_a	A
Armature Voltage	V_a	V
Electromagnetical Motor Torque Constant	T_e	V.sec/rad
Total Load Torque	T_L	Nm
Angular Velocity of Rotor	Ω_m	Rad/sec
Moment Inertia of Rotor	J	Kg.m ²
Torque Constant	K_T	N.m/A
Frictional Constant of Motor and Load	B_m	N.m.sec/rad
Back-EMF Coefficient	K_v	V.sec/rad

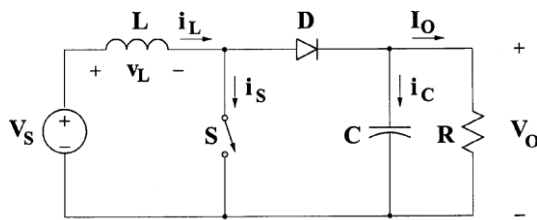
Dari persamaan di atas 7 tersebut, didapatkan blok diagram seperti yang terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Blok Diagram dari Motor DC [3]

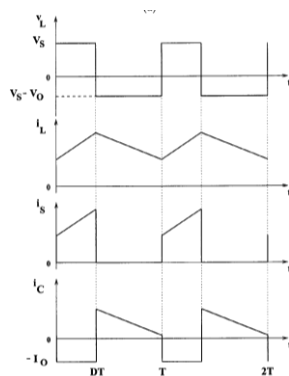
E. Boost Converter DC-DC

Boost converter, sering dikenal sebagai konverter step-up adalah konverter daya DC-ke-DC yang menaikkan tegangan sambil menurunkan arus dari inputnya (supply) ke outputnya (beban). Ini adalah kelas *switching-mode power supply (SMPS)* yang mengandung setidaknya dua semikonduktor (dioda dan transistor) dan setidaknya satu elemen penyimpanan energi: kapasitor, induktor, atau keduanya dalam kombinasi. Konverter boost adalah sistem yang sangat nonlinier dan berbagai teknik kontrol linier dan nonlinier untuk mencapai pengaturan tegangan yang baik dengan variasi beban yang variatif. Berikut ini adalah gambar rangkaian dari *boost converter* :



Gambar 9 Rangkaian boost converter beserta keterangan Komponennya [7]

Pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa *Boost Converter* terdiri dari sumber tegangan input DC, *Switch (S)*, dioda (*D*), filter induktor (*L*), kapasitor filter (*C*), dan tahanan beban (*R*). Bentuk gelombang khas dalam konverter ditunjukkan dalam Gambar 10. Berdasarkan pada Gambar 10 keadaan konverter Ketika sakelar *S* dalam keadaan hidup, arus dalam *boost* induktor meningkat secara linier dan dioda *D* mati pada saat itu. Ketika sakelar *S* dimatikan, energi yang tersimpan dalam induktor dilepaskan melalui dioda untuk keluaran rangkaian RC.



Gambar 10 Gelombang Boost Converter [8]

F. Persamaan Model Boost Converter

Berdasarkan Gambar 9 dapat ditentukan persamaan matematis dari model *boost converter* dimana pada saat kondisi sakelar ditutup, maka dihitung dengan menggunakan persamaan 8. Adapun perubahan arus induktor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 9. Pada saat kondisi saklar ditutup, maka delta i_L yang dihasilkan dihitung dengan menggunakan persamaan 10.

$$v_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad (8)$$

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L} \quad (9)$$

$$(\Delta i_L)_{\text{closed}} = \frac{V_s DT}{L} \quad (10)$$

Ketika saklar dibuka, arus induktor tidak dapat berubah seketika sehingga diode mendapatkan tegangan maju. Dengan asumsi bahwa tegangan keluaran konstan, maka tegangan pada induktor dihitung dengan persamaan 11. Laju perubahan arus induktor konstan, sehingga arus berubah secara linier. Perubahan arus induktor ketika saklar dibuka dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 12, sehingga delta i_L didapatkan dengan mengimplementasikan persamaan 13.

$$v_L = V_s - V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (11)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L}$$

$$(\Delta i_L)_{\text{open}} = \frac{(V_s - V_o)(1 - D)T}{L} \quad (12)$$

$$(\Delta i_L)_{\text{open}} = \frac{(V_s - V_o)(1 - D)T}{L} \quad (13)$$

Pada saat operasi *steady state*, total perubahan arus pada induktor yang dihitung dengan menggunakan persamaan 14 adalah nol. Sehingga didapatkan bahwa V_o dengan menggunakan persamaan 15.

$$(\Delta i_L)_{\text{closed}} + (\Delta i_L)_{\text{open}} = 0 \quad (14)$$

$$\frac{V_s DT}{L} + \frac{(V_s - V_o)(1 - D)T}{L} = 0$$

$$V_s(D + 1 - D) - V_o(1 - D) = 0 \quad (15)$$

$$V_o = \frac{V_s}{1 - D}$$

Tegangan rata-rata induktor nol selama periode operasi, sehingga tegangan rata-rata induktor selama periode pensaklaran dihitung dengan menggunakan persamaan 16. Berdasarkan dari Gambar 9 juga dapat ditentukan hubungan antara tegangan input, tegangan output, dan rasio saklar sebagaimana persamaan 17.

$$V_L = V_s D + (V_s - V_o)(1 - D) = 0 \quad (16)$$

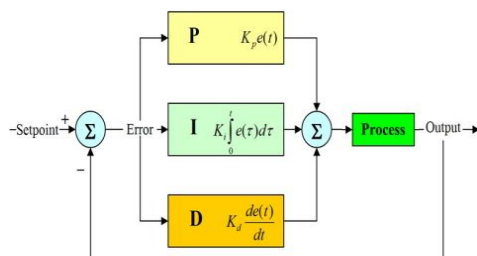
$$V_s DT = (V_0 - V_s) (1 - D) T \quad (17)$$

Oleh karena itu, fungsi transfer tegangan DC, didefinisikan sebagai rasio tegangan output terhadap tegangan input, seperti pada persamaan 18. Dari persamaan 18 dapat dilihat bahwa tegangan output selalu lebih besar dari tegangan input.

$$M_v \equiv \frac{V_0}{V_s} = \frac{1}{1 - D} \quad (17)$$

G. Kontrol PID

Sistem kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*) merupakan sistem kontrol untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Parameter kontrol PID terdiri atas kontrol *proportional*, *integral* dan *derivative*. Dinama penggunaannya bisa hanyadigunakan kontrol P atau PI atau PID, tergantung respon yang kita inginkan terhadap suatu *system*, adapun blok diagram dari PID kontrol dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 11 Diagram Blok Kontrol PID

Adapun fungsi dari setiap blok diagram pada Gambar 11 antara lain :

- Kp merupakan penguatan *proporsional* yang berfungsi memberikan output atau keluaran sebanding dengan *error*, kontrol ini tidak bisa menghilangkan *error* sepenuhnya.
- Ki merupakan penguatan *integral* yang berfungsi untuk menghilangkan *error* atau nilai *offset*.
- Kd merupakan penguatan *derivative* yang berfungsi sebagai penstabilan sistem yang tidak dapat diatasi oleh kontrol P dan I.

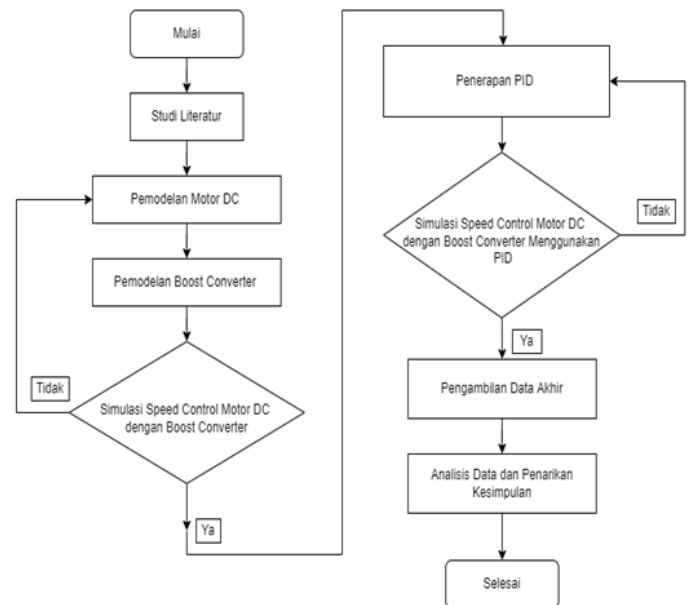
III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Kebutuhan Sistem

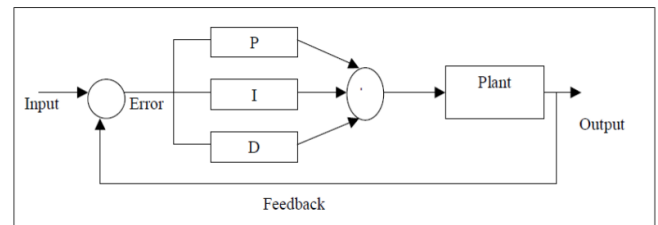
Pada penelitian ini, diperlukan beberapa bahan yang akan digunakan sebagai komponen prototipe alat. Beberapa bahan yang akan digunakan dapat dilihat pada TABEL II berikut.

TABEL II
ALAT DAN BAHAN YANG DIPERLUKAN

No	Nama Item	Jumlah
1	Personal Computer	1 unit
2	Software MATLAB r2017a	1 unit



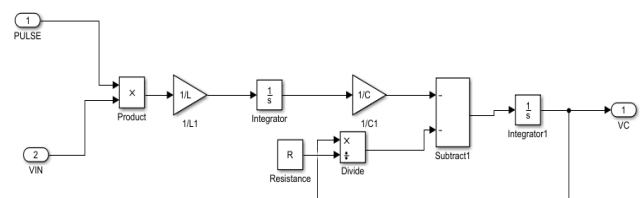
Gambar 12 Diagram Alur Penelitian



Gambar 13 Pemodelan Simulasi Kecepatan Motor DC

B. Pemodelan Boost Converter Dan Motor DC

Boost converter adalah jenis konverter DC-DC yang berfungsi untuk menaikkan tegangan DC. *Boost converter* memiliki efisiensi yang tinggi dalam menurunkan tegangan karena semua elemen pada *boost converter* seperti induktor, kapasitor, *switch*, dan dioda tidak mengkonsumsi energi. Pada penelitian ini *boost* konverter dibebani oleh motor dc yang akan menyumbang beban induktif dan resistif. Diagram dari *boost* konverter sebagai penggerak ditunjukkan pada gambar berikut.



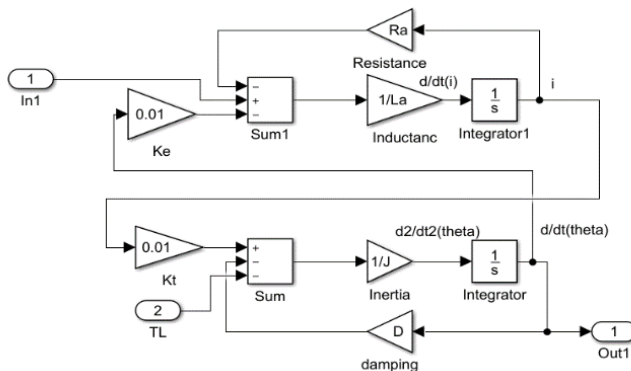
Gambar 14 Pemodelan Boost Converter [10]

Pada Gambar 14 dapat dilihat *boost converter* dirancang dengan input sebesar 200 Volt. Pada rancangan ini *boost converter* terdiri komponen swithing semikonduktor (pulse generator) dan komponen lainnya seperti induktor, kapasitor dan resistor sebagai beban.

Pada penelitian ini motor yang digunakan berjenis motor DC, untuk spesifikasi dari motor DC ditunjukkan pada tabel III.

TABEL III
PARAMETER MOTOR DC

Parameter	Value
Armature Voltage	220 V
Armature Resistance	0,4 Ohm
Armature Inductance	0,016 H
Rotor Inertia	0,2 kg.m ²
Torque Constant	1 N.m
Rated Speed	1300 rpm

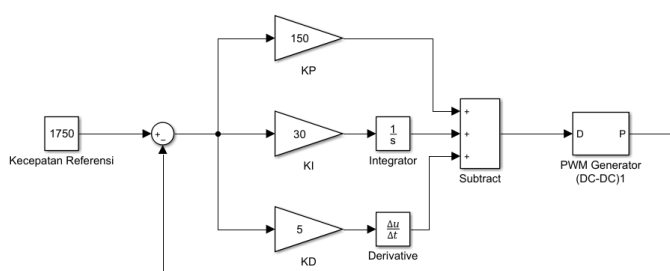


Gambar 15 Pemodelan Motor DC [10]

Pada Gambar 15 dapat dilihat bahwa tegangan motor dihubungkan ke *boost converter* untuk memastikan bahwa motor berjalan pada kecepatan yang diinginkan. Output dari motor adalah kecepatan (rpm).

C. Implementasi PID pada Boost Converter sebagai Penggerak Motor DC

Kontrol yang efektif dan efisien adalah menggunakan PID telah muncul sebagai alat untuk menghadapi ketidakpastian terhadap masalah pembuatan keputusan kualitatif. Struktur dari kontrol PID ditunjukkan pada Gambar 16 berikut.



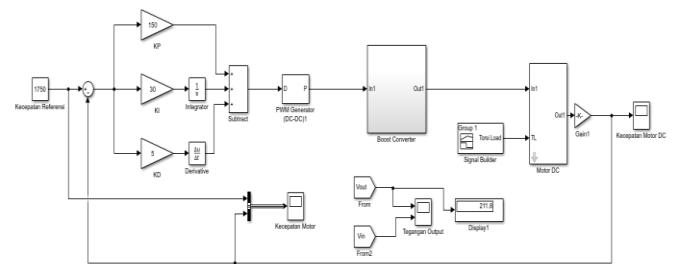
Gambar 16 Pemodelan PID [10]

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Model Keseluruhan Boost Converter, Motor DC dan PID

Sistem pada penelitian ini menggunakan beberapa komponen penting yaitu *PID* sebagai pengontrol, *Boost*

Converter sebagai up tegangan, dan Motor DC sebagai penggerak.

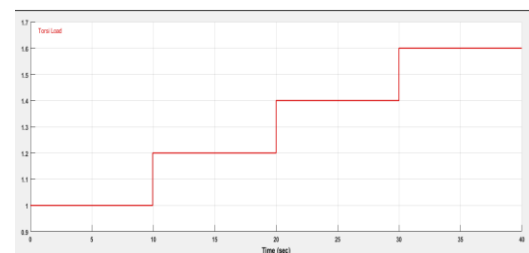


Gambar 17 Model Keseluruhan Sistem

Dari Gambar 17 dapat dilihat bahwa Input dari motor DC adalah berupa tegangan output dari *boost converter*, *PID* berfungsi sebagai pengontrol *duty cycle* pada *boost converter* untuk menghasilkan kecepatan output motor DC yang sesuai dengan kecepatan referensi. Inputan dari *PID* adalah berupa kecepatan output motor DC.

B. Output Sistem pada Simulasi dengan Pengaturan Torsi untuk Menjalankan Sistem

Pada penelitian ini untuk menjalankan system hal yang pertama yang harus diatur adalah torsi beban. Hal ini dikarenakan dengan mengatur torsi beban akan ada dampak yang terjadi pada motor dc. Adapun torsi beban yang diatur pada penelitian ini adalah seperti pada Gambar 18.



Gambar 18 Pengaturan torsi untuk sistem

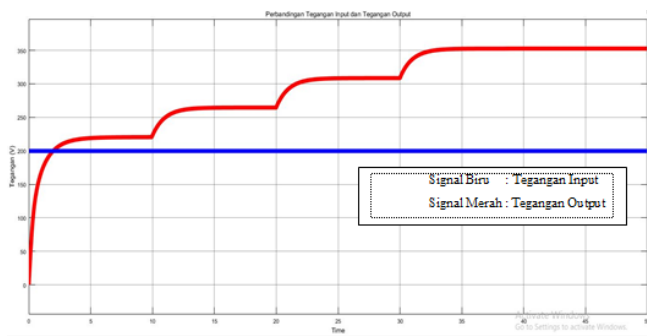
Dari Gambar 18 dapat dilihat bahwa ada 4 tingkatan dalam menentukan nilai torsi, dimana nilai torsi yang digunakan adalah 1 HP, 1,2 HP, 1,4 HP, dan 1,6 HP. Penentuan nilai torsi beban yang berbeda ini dilakukan untuk melihat sistem output yang akan terjadi terhadap tegangan output *boost converter* dan kecepatan motor DC dengan perbandingan terhadap parameter referensinya.

C. Perbandingan Tegangan Output Dan Tegangan Input

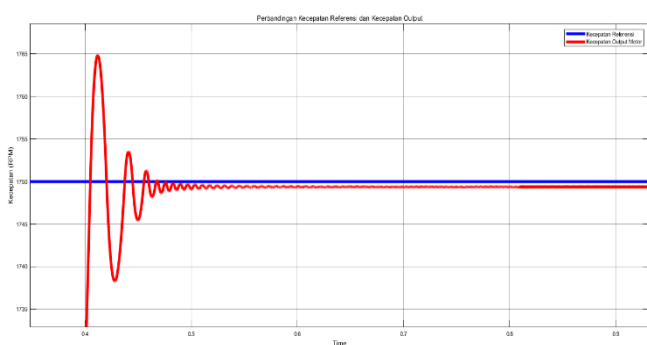
Setelah mengatur torsi beban, kemudian system dijalankan sehingga didapatkan bentuk grafik tegangan antara tegangan referensi dengan tegangan output dari *boost converter*. Untuk grafiknya dapat dilihat pada gambar 19.

Dari Gambar 19 dapat dilihat perbandingan antara tegangan referensi (input) dengan tegangan output. Pada saat torsi pada 1 HP didapatkan tegangan output 220 V, kemudian pada saat torsi beban pada 1,2 HP tegangan yang didapatkan 275 V, pada saat torsi 1,4 HP tegangan output 300 V dan pada saat torsi 1,6 HP didapatkan tegangan output 350 V. Dari hasil

yang didapatkan bisa diartikan semakin besar nilai torsi beban, tegangan yang harus digunakan untuk menyuplai motor juga harus semakin tinggi. Tegangan input pada boost converter adalah 200 V.



Gambar 19 Perbandingan tegangan output (signal merah) dengan tegangan input (signal biru)



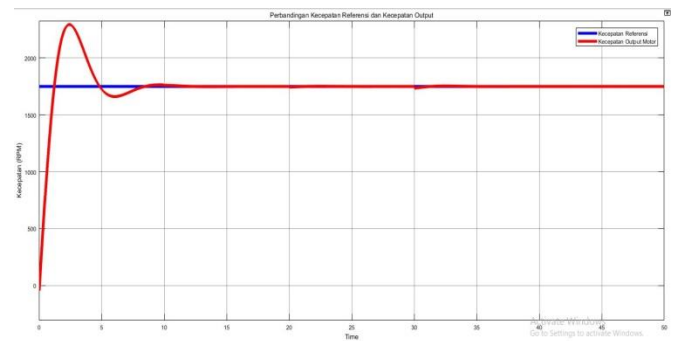
Gambar 20 Perbandingan kecepatan referensi (sinyal biru) dengan kecepatan output (sinyal merah) tanpa PID

D. Perbandingan Kecepatan Input Dan Kecepatan Output Motor Dengan Tidak Menggunakan PID

Dari Gambar 20 dapat dilihat bahwa kecepatan output pada saat start motor dc mengalami overshoot dan memiliki ripple pada sistem dan kecepatan motor tidak dapat mencapai kecepatan referensi yang telah ditentukan. Ketika pada saat perubahan kenaikan torsi beban pada motor dc yaitu pada detik 10, detik 20 dan detik 30 dengan torsi awal 1 HP, 1,2 HP, 1,4 HP dan 1,6 HP. terlihat pada sistem kecepatan motor dc mengalami penurunan seiring dengan peningkatan torsi beban yang singkat dan meningkat kembali, akan tetapi kecepatan motor tidak dapat mencapai kecepatan pada saat sebelum terjadi perubahan kenaikan torsi beban.

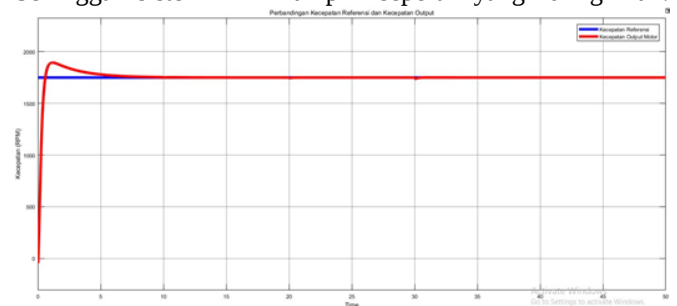
E. Perbandingan Kecepatan Input Dan Kecepatan Output Menggunakan PID

Gambar 21 merupakan grafik perbandingan antara kecepatan input dan kecepatan output dengan menggunakan PID dengan nilai K_p 10 dan K_d 10. Dari Gambar 21 dapat dilihat bahwa kecepatan output pada motor DC mengalami overshoot dari nilai steady state nya pada saat start motor DC, kemudian pada detik 15 kecepatan motor mengalami kestabilan. Tetapi system ini belum sesuai harapan dikarenakan nilai overshoot yang tinggi menjadikan system ini belum stabil dan tidak sesuai harapan.

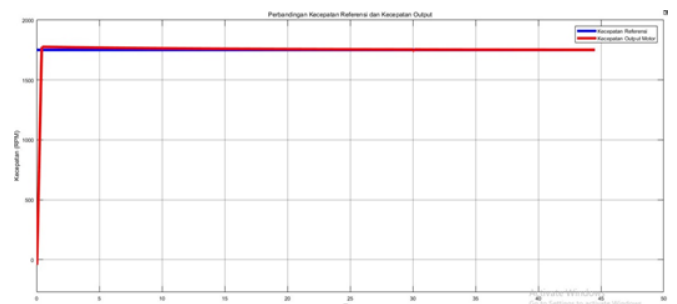


Gambar 21 Perbandingan kecepatan input (sinyal biru) dengan kecepatan output menggunakan PID

Gambar 22 merupakan grafik perbandingan antara kecepatan input dan kecepatan output dengan menggunakan PID dengan nilai K_p 50, K_i 20, dan K_d 10. Dari Gambar 22 dapat dilihat kecepatan motor DC hampir mendekati kecepatan referensi pada saat start akan tetapi sistem ini dapat menghilangkan ripple yang dilihat pada gambar 4.5. Hal ini berpengaruh dikarenakan nilai K_p dan K_d yang semakin tinggi. Kemudian dari gambar diatas kecepatan motor menuju kondisi steady state hanya memerlukan waktu sekitar 7 detik. Sehingga sistem ini hampir seperti yang diinginkan.



Gambar 22 Perbandingan kecepatan input (sinyal biru) dengan kecepatan output (sinyal merah) menggunakan PID



Gambar 23 Perbandingan kecepatan input (sinyal biru) dengan kecepatan output (sinyal merah) menggunakan PID

Gambar 23 merupakan grafik perbandingan antara kecepatan input dan kecepatan output dengan menggunakan PID dengan nilai K_p 50, K_i 20, dan K_d 10. Dari Gambar 23 dapat dilihat kecepatan motor DC tidak mengalami overshoot saat start. Sistem ini sesuai dengan apa yang diharapkan dapat dilihat dari gambar bahwa kecepatan output motor dc pada

saat kondisi start tidak mengalami overshoot dan tidak ada riak. Sehingga kecepatan motor mencapai kondisi *set point* kecepatan referensi hanya memerlukan waktu 2 detik dan tidak terpengaruh dengan adanya kenaikan perubahan torsi beban. Hal ini dikarenakan nilai KI yang rendah sehingga tidak membuat lonjakan pada saat motor start.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa *boost converter* dapat bekerja dengan baik dalam menaikkan tegangan input dalam mensuplai motor, pada saat torsi pada 1 HP didapatkan tegangan output 220 V, kemudian pada saat torsi beban pada 1,2 HP tegangan yang didapatkan 275 V, pada saat torsi 1,4 HP tegangan output 300 V dan pada saat torsi 1,6 HP didapatkan tegangan

output 350 V. Sistem kontrol kecepatan motor dc dengan *boost converter* tanpa pid mengalami overshoot dan memiliki ripple pada saat start motor dc dan kecepatan motor tidak dapat mencapai kecepatan referensi yang telah ditentukan. Pada kontrol P (proporsional), nilai Kp yang tinggi menyebabkan sistem bekerja tidak stabil karena overhoot. Pada kontrol I (Integral), nilai KI dapat menyebabkan steady state error menghilang dari sistem, tapi membuat nilai overshoot yang semakin tinggi. Pada kontrol D (Derivative), nilai Kd dapat menurunkan nilai overshoot yang disebabkan oleh Kp dan Ki. Sistem kontrol PID dapat mengatur kecepatan pada motor DC dengan cara mengatur nilai Kp, Ki, dan Kd yang sesuai dengan sistem motor DC sehingga kecepatan motor mencapai kondisi kecepatan referensi lebih cepat.

REFERENSI

- [1] M. T. Ramadhan, D. C. Riawan dan I. Robandi, "Desain Pengendalian Kecepatan Motor Dc Menggunakan Buck Konverter Berbasis Fuzzy Logic Controller" *Jurnal Teknik ITS*, vol. 4, no. 1, pp. B10-B13, 2015.
- [2] Wahyudi, S. dan I. Setiawan, "Pengendalian Motor Dc Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation" Seminar Nasional Informatika 2008, no. ISSN: 1979-2328, pp. 185-191, 2008.
- [3] S.-H. Kim, *Electric Motor Control*, Seoul: Elsevier, 2016.
- [4] US Department Of Energy, "DOE Fundamental Handbook Electrical Science" in *DC Motor*, Washington, US Department Of Energy, 2014, pp. 1-14.
- [5] M. Y. Tarnini, "Microcontroller Based PMDC Motor Control for Driving 0.5KW Scooter" *International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition*, pp. 1204 - 1205, 214.
- [6] M. Mahghani and E. Afjei, "Carrier-based with Unipolar Switching Technique Current Control of PMDC Motors in Electric Vehicle Applications" *Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE2017)*, vol. 25, pp. 1060 - 1061, 2017.
- [7] M. H. Rasyid, *Power Electronics Handbook*, Florida: Academic Press, 2001.
- [8] M. H. Rashid, *Power Electronics Handbook*, Florida: Academic Press, 2001.
- [9] M. Nadhif dan S. , "Aplikasi Fuzzy Logic untuk Pengendali Motor DC Berbasis Mikrokontroler ATmega8535 dengan Sensor Photodiode," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 7, no. 02, pp. 81-85, 2015.
- [10] Mohd Faiz Husny Bin Yusof , "Development Of Dc-Dc Converter For DC Motor using Fuzzy Logic Controller," *Faculty Of Electrical and Electronics Engineering, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia*.