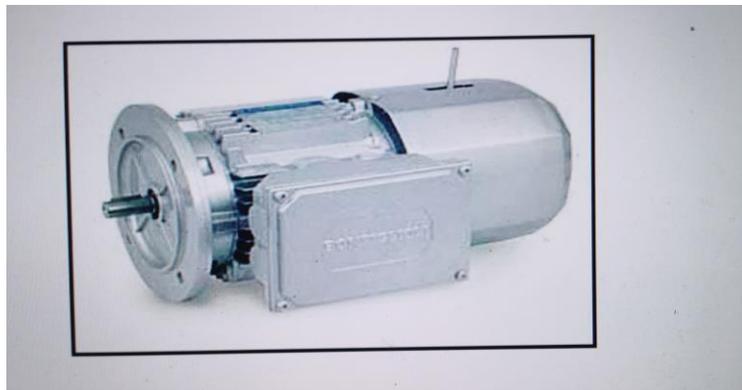


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor DC

Motor listrik dc (*direct current* / arus searah) merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik dc menjadi energi mekanik. Energi mekanik yang dihasilkan dari motor dapat digunakan di beberapa aplikasi tertentu misalnya pada *impeller* pompa, *fan*, *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dan lain-lain. Peralatan rumah tangga juga banyak yang menggunakan motor listrik dc antara lain *mixer*, bor listrik, kipas angin. Model motor dc sederhana dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Motor DC Sederhana [1]

Motor DC memerlukan suplai tegangan searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Kumparan medan pada motor dc disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika terjadi putaran pada kumparan jangkar dalam pada medan

magnet, maka akan timbul tegangan (*GGL*) yang berubah-ubah arah pada setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan bolak-balik. Prinsip kerja dari arus searah adalah membalik fasa tegangan dari gelombang yang mempunyai nilai positif dengan menggunakan komutator, dengan demikian arus yang berbalik arah dengan kumparan jangkar yang berputar dalam medan magnet. Bentuk motor paling sederhana memiliki kumparan satu lilitan yang bisa berputar bebas di antara kutub-kutub magnet permanen. Satu tegangan dc dari baterai menuju ke lilitan melalui sikat yang menyentuh komutator, dua segmen yang terhubung dengan dua ujung lilitan. Kumparan satu lilitan pada motor DC di atas disebut angker dinamo. Angker dinamo adalah sebutan untuk komponen yang berputar di antara medan magnet.

2.2.1 Komponen Motor DC

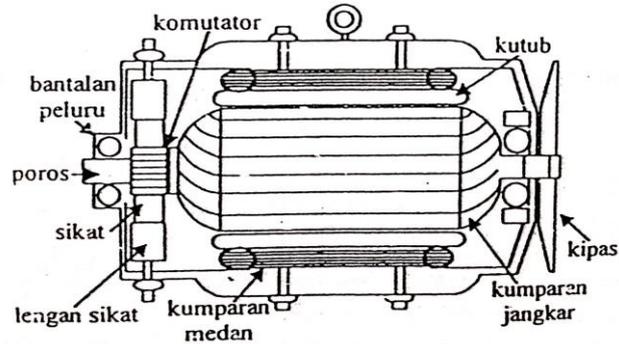
Motor dc dibagi dalam dua komponen utama, yaitu bagian stator dan bagian rotor. Stator merupakan bagian motor yang tidak bergerak (statis), sedangkan rotor merupakan bagian motor yang bergerak.

2.2.1 Bagian Stator

1. Gandar atau Rangka Motor

Fungsi utama dari rangka motor adalah sebagai tempat mengalirnya fluks magnet yang dihasilkan oleh kutub-kutub magnet, karena itu rangka motor dibuat dari bahan ferromagnetik. Selain itu, rangka motor juga berfungsi untuk

melindungi bagian-bagian dalam motor. Konstruksi motor dc dapat dilihat pada Gambar 2.2.

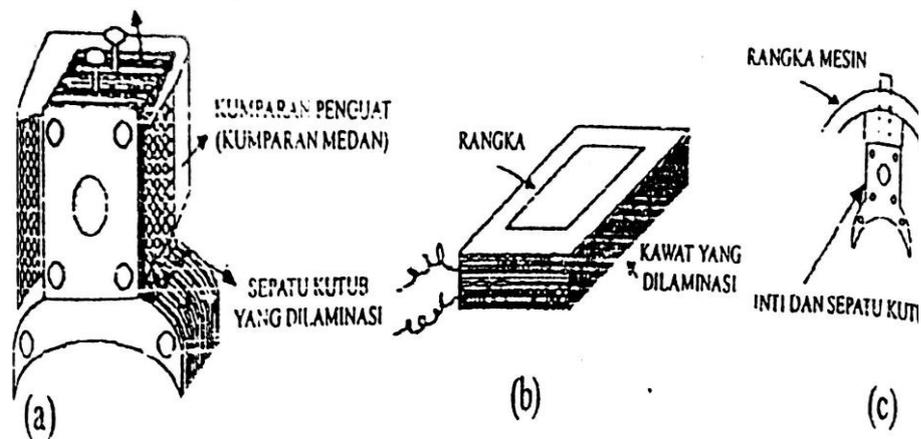


Gambar 2.2 Konstruksi motor DC [2]

Untuk mesin kecil, di mana pertimbangan harga lebih dominan dari pada beratnya, biasanya rangkanya terbuat dari besi tuang (*cast iron*), tetapi untuk mesin-mesin besar pada umumnya terbuat dari baja tuang (*cast steel*) atau baja lembaran (*rolled steel*). Rangka ini pada bagian dalam dilaminasi untuk mengurangi rugi-rugi inti, selain itu rangka ini juga harus memiliki permeabilitas yang tinggi, disamping kuat secara mekanis. [2]

2. Inti kutub magnet

Inti kutub terbuat dari lembaran-lembaran besi tuang atau baja tuang. Sepatu kutub dilaminasi dan dibaut ke inti kutub. Sedangkan kutub (inti kutub dan sepatu kutub) dibaut atau dikeling (*rivet*) ke rangka mesin. Kumparan penguat atau kumparan kutub terbuat dari kawat tembaga (berbentuk bulat atau strip/persegi) yang dililitkan sedemikian rupa dengan ukuran tersebut. [2]



Gambar 2.3 Konstruksi kutub magnet dan penempatannya [2]

3. Lilitan Penguat Magnet

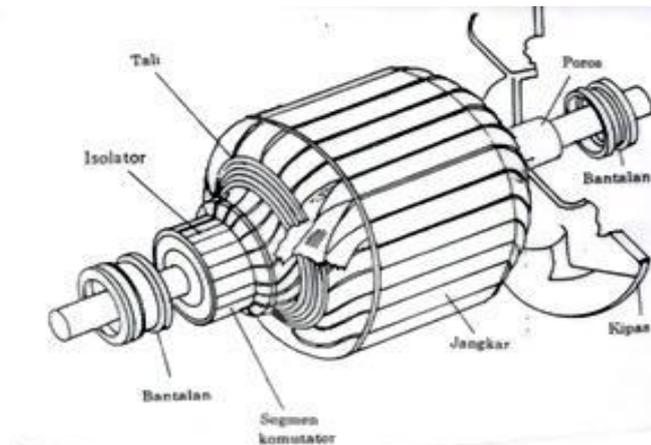
Lilitan penguat magnet berfungsi untuk mengalirkan arus listrik agar terjadi proses elektro magnet sehingga terjadi suatu magnet buatan sedangkan inti kutub magnet merupakan tempat dihasilkannya fluks magnet.

4. Sikat - Sikat dan *Slip Ring*

Sikat-sikat berfungsi untuk jembatan bagi aliran arus dari lilitan jangkar beban, aliran arus tersebut akan mengalir dari sumber dan diterima oleh kontaktor. Sikat-sikat biasanya terbuat dari bahan dasar karbon dengan tingkat kekerasan material yang bervariasi. Namun, umumnya yang digunakan adalah material yang lunak agar ketika terjadi gesekan antara sikat-sikat dan komutator tidak membuat komutator cepat aus.

5. *Slip Ring*

Fungsi *slip ring* adalah sebagai kontak hubungan dengan sikat-sikat, yang dipakai untuk melewatkan aliran arus atau tegangan arus bolak-balik. Model sikat dan *slip ring* dapat dilihat pada Gambar 2.4.

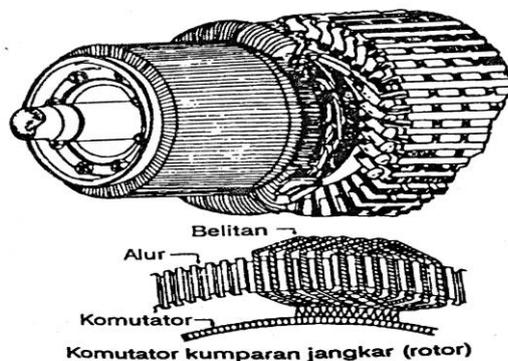


Gambar 2.4 sikat dan slip ring motor DC [3]

2.2.2 Bagian Rotor

1. Komutator

Komutator merupakan sebuah penyearah mekanis yang membuat arus dari sumber tetap mengalir walaupun belitan medan berputar. Fungsi dari komutator ini adalah mengonversi arus bolak-balik menjadi arus searah kemudian dialirkan ke kumparan motor dc. Komutator dipakai bersama-sama dengan sikat-sikat (*brush*). Sikat-sikat ditempatkan sedemikian rupa sehingga proses komutasi terjadi pada saat sisi kumparan berbeda. Bentuk komutator dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Komutator [4]

2. Jangkar

Inti dari jangkar adalah silinder. Bentuknya adalah silinder yang diberi alur-alur pada permukaannya untuk tempat melilitkan kumparan jangkar. Bahan yang digunakan dalam penggunaan motor arus searah. Dimana ggl induksi akan timbul pada area ini.

3. Kumparan Jangkar

Kumparan jangkar pada konstruksi motor dc merupakan tempat yang paling penting, dimana pada bagian inilah proses pembentukan ggl induksi (gaya gerak listrik) pertama kali. Ada tiga jenis kumparan jangkar pada rotor yang biasa digunakan, yaitu :

- a. Kumparan jerat (*lap winding*)
- b. Kumparan gelombang (*wave winding*)
- c. Kumparan zig-zag (*frog – leg winding*)

2.3 Cara Kerja Motor DC

Motor DC bekerja dengan prinsip gaya Lorentz. Gaya Lorentz ditimbulkan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Kumparan medan, yaitu bagian yang statis (stator) yang menghasilkan medan magnet.
2. Kumparan jangkar, bagian yang diinduksi oleh ggl (tegangan) dari sumber listrik.

3. Ketika kumparan jangkar diinduksikan oleh arus, sesuai prinsip gaya Lorentz yang ada pada tepi kumparan jangkar, akan menghasilkan torsi terhadap poros motor sehingga menghasilkan gerak mekanis.

Pada motor dc, daerah kumparan medan yang dialiri arus listrik akan menghasilkan medan magnet yang melingkupi kumparan jangkar dengan arah tertentu. Konversi dari energi listrik menjadi energi mekanik (motor) maupun sebaliknya berlangsung melalui medan magnet, dengan demikian medan magnet disini selain berfungsi sebagai tempat untuk menyimpan energi, sekaligus sebagai tempat berlangsungnya proses perubahan energi.

Agar proses perubahan energi mekanik dapat berlangsung secara sempurna, maka tegangan sumber harus lebih besar daripada tegangan gerak yang disebabkan reaksi lawan. Dengan, memberi arus pada kumparan jangkar yang dilindungi oleh medan maka menimbulkan perputaran pada motor. Dapat dilihat dari rumus kecepatan sebagai berikut :

$$n = \frac{V_t - I_a \cdot R_a}{c - \emptyset} \dots\dots[5]$$

Keterangan:

V_t = tegangan terminal motor

I_a = arus jangkar

R_a = tahanan jangkar

n = kecepatan

c = konstanta

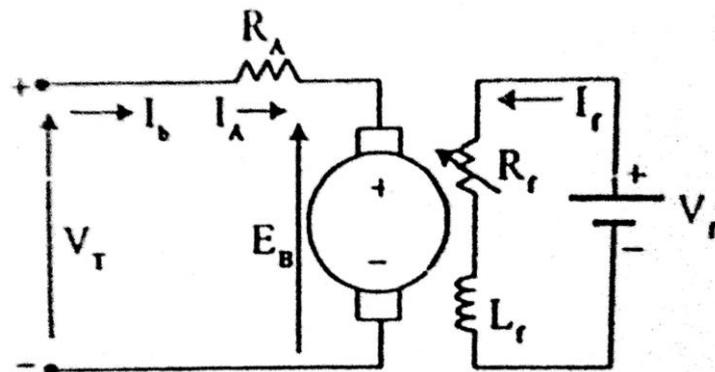
\emptyset = fluks magnet

2.4 Jenis-jenis Motor DC

Berdasarkan sumber penguat arus magnetnya, motor DC dibagi menjadi dua macam, yaitu motor arus searah penguatan terpisah dan penguatan sendiri. Pada motor penguatan sendiri terbagi lagi menjadi dua jenis yaitu seri dan *shunt*.

2.4.1 Motor DC penguat terpisah

Motor DC penguatan terpisah memiliki sumber tegangan penguatan yang terpisah untuk menimbulkan medan magnet pada kumparan jangkar. Sehingga tegangan penguatannya dapat diubah-ubah tanpa mempengaruhi tegangan suplainya. Rangkaian ekuivalen dari motor dc penguatan terpisah dapat dilihat pada gambar 2.2 .



Gambar 2.6 Motor DC penguat terpisah [2]

Rumus yang berkaitan dengan motor dc penguatan terpisah adalah sebagai berikut :

$$V = E_b + I_a . R_a \dots [6]$$

Dimana : $E_b = c n \phi$ [6]

$\phi = f(I_f)$ [6]

Keterangan:

V_t = tegangan terminal motor

E_b = tegangan *back emf* pada motor

I_a = arus jangkar

I_f = arus penguatan

R_a = tahanan jangkar

n = kecepatan

c = konstanta

ϕ = fluks magnet

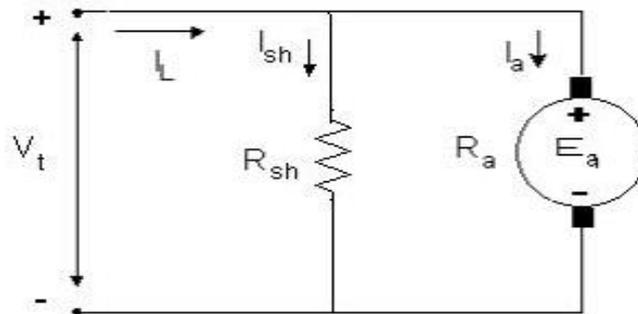
2.4.2 Motor DC penguatan sendiri

Motor jenis ini memiliki satu sumber tenaga yang menyuplai kedua kumparan jangkar dan medan. Jenis penguatan sendiri terbagi menjadi dua hubungan yaitu seri dan paralel. Hubungan paralel memiliki keuntungan pengaturan kecepatan yang bagus. Sedangkan hubungan seri baik digunakan pada aplikasi yang memerlukan torsi penyalan awal yang tinggi.

1. Motor DC penguatan sendiri paralel (*Shunt*)

Pada motor ini, gulungan medan dihubung paralel dengan gulungan kumparan jangkar motor. Rangkaian ekuivalen dari motor dc penguatan sendiri paralel dapat dilihat pada Gambar 2.7. Dari gambar,dapat dilihat bahwa total arus

yang ada dalam jalur merupakan jumlah antara arus medan dan arus kumparan jangkar motor.



Gambar 2.7 Rangkaian Ekuivalen Motor DC *Shunt* [4]

Persmaan pada motor jenis penguatan ini adalah sebagai berikut :

$$E = V_t - I_a R_a \dots [7]$$

dimana : $I_L = I_a + I_{sh} \dots [7]$

$$I_{sh} = \frac{R_{sh}}{V} \dots [7]$$

Keterangan:

V_t = tegangan terminal motor

I_a = arus jangkar

R_a = tahanan jangkar

R_{sh} = belitan penguat shunt

E = tegangan

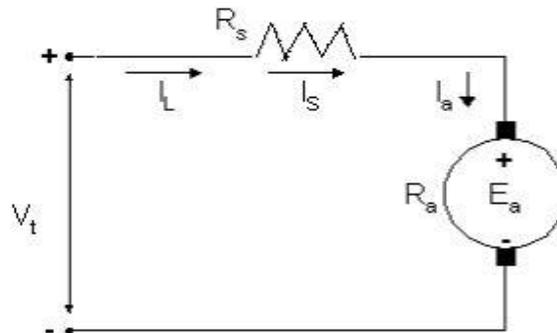
I_f = arus medan

Motor DC *shunt* mempunyai kecepatan konstan terhadap perubahan beban (hingga *torque* tertentu setelah kecepatannya berkurang) dan oleh karena itu

cocok untuk penggunaan komersial dengan beban awal yang rendah, seperti peralatan mesin. Kecepatan motor DC dapat dikendalikan dengan cara memasang tahanan dalam susunan seri dengan motor agar kecepatan berkurang atau dengan memasang tahanan pada arus medan agar kecepatan bertambah.

2. Motor DC seri:

Pada motor jenis ini, gulungan medan dihubungkan secara seri dengan gulungan kumparan motor seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.8. Oleh karena itu, jumlah arus medan penguatan sama dengan jumlah arus kumparan jangkar motor.



Gambar 2.8 Rangkaian Ekuivalen Motor DC seri [4]

$$E = V_t - I_L(R_s + R_a) \dots[7]$$

dimana : $I_L = I_s = I_a \dots[7]$

Keterangan:

V_t = tegangan terminal motor

I_a = arus jangkar

R_a = tahanan jangkar

E = tegangan

R_s = belitan penguatan seri pada stator

Berikut tentang kecepatan motor seri :

1. Kecepatan dibatasi pada 5000 RPM
2. Pengoperasian motor dc dilakukan dengan terlebih dahulu dihubungkan beban agar kecepatannya terkendali.
3. Motor-motor dc seri baik digunakan yang memerlukan *torque* penyalaan awal yang tinggi, seperti derek dan alat pengangkat. [8]

2.5 Pengenalan Simulink Matlab

2.5.1 Matlab

Matlab ialah suatu perangkat lunak yang merupakan singkatan dari Matrix Laboratory, dibuat oleh Math Work Inc. dan biasa digunakan untuk analisis matematika, rancangan kendali, identifikasi sistem dan grafik. *Software* ini digunakan untuk membantu dalam penyelesaian masalah penelitian dalam matematika dan teknik secara praktikal. Penggunaan khusus didalamnya meliputi *numeric computation*, teori kendali, statistik secara signal digital. Matlab mempunyai beberapa *Toolbox* diantaranya [9] :

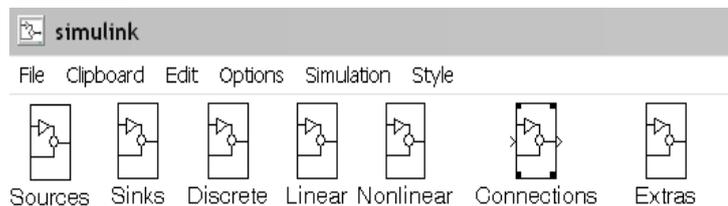
1. *Toolbox Control System* merupakan perintah untuk membantu dalam penyelesaian teori teknik sistem kendali.

2. *Toolbox Signal processing* merupakan perintah untuk membantu dalam penyelesaian proses signal digital.
3. *Toolbox Optimization* merupakan perintah untuk membantu dalam penyelesaian optimasi fungsi umum non linier dan linier.

2.5.2 Simulink

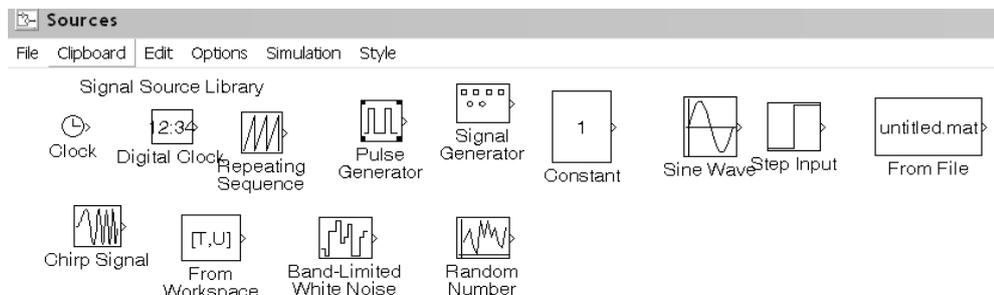
Simulink Matlab merupakan salah satu bagian yang terdapat pada Matlab. Perangkat lunak ini digunakan untuk membuat bentuk/model dari suatu sistem dengan menggunakan persamaan matematika dari sistem tersebut. Simulink terdiri dari beberapa kumpulan *toolbox* yang dapat digunakan untuk analisis sistem linier dan non-linier. Beberapa *library* yang sering digunakan dalam membuat suatu sistem antara lain [9] :

1. Block Pustaka Simulink :



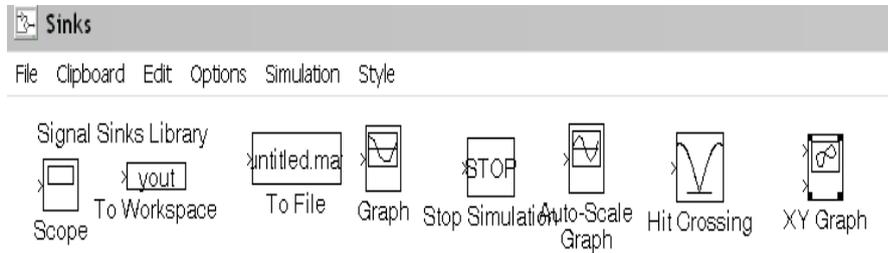
Gambar 2.9. Block Pustaka Simulink [9]

2. Block Pustaka Source



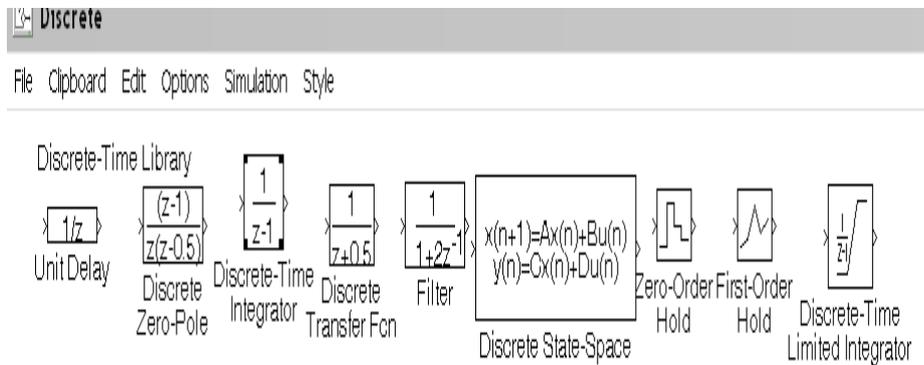
Gambar 2.10. Block Pustaka Source [9]

3. Block Pustaka Sink



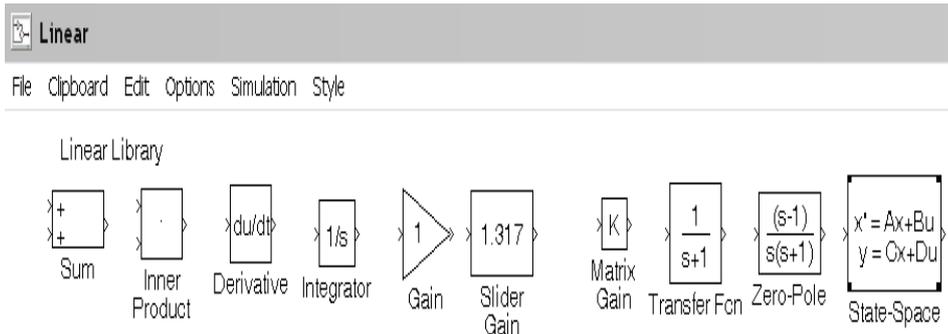
Gambar 2.11. Block Pustaka Sink [9]

4. Block Pustaka Discrete



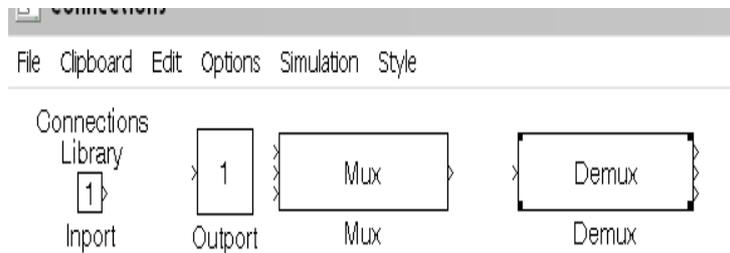
Gambar 2.12. Block Pustaka Discrete [9]

5. Block Pustaka Linier



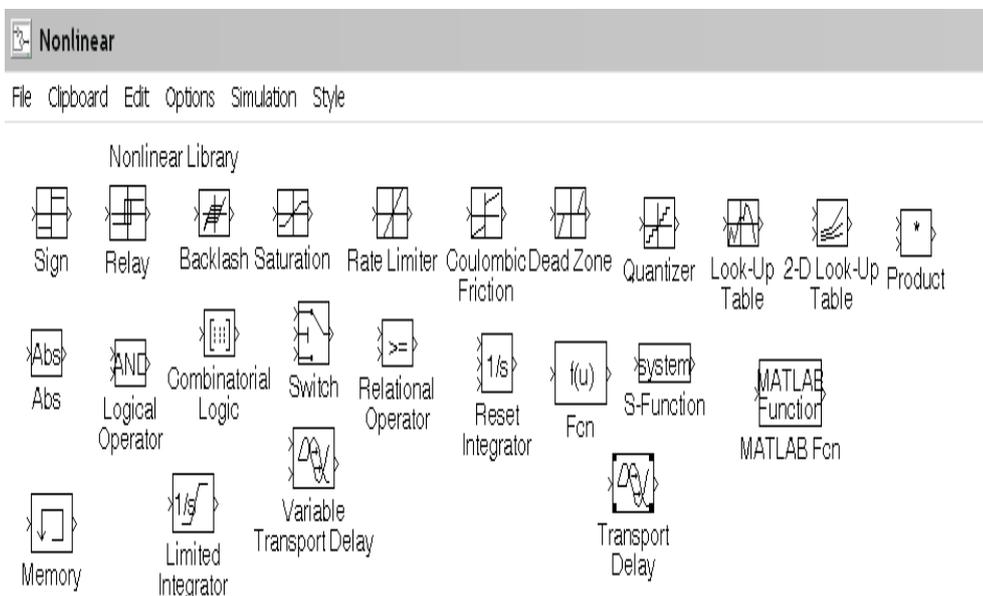
Gambar 2.13. Block Pustaka Linear [9]

6. Block Pustaka Connection



Gambar 2.15. Block Pustaka Connection [9]

7. Block Pustaka Non Linier

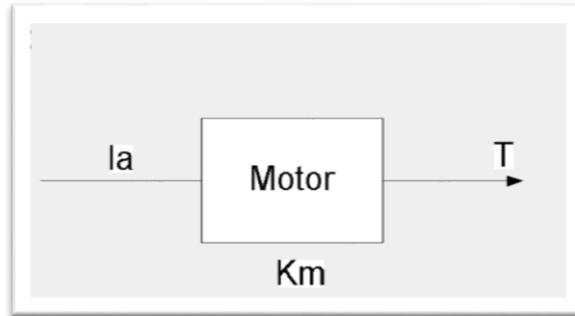


Gambar 2.14. Block Pustaka Nonlinear [9]

2.6 Pemodelan Motor DC

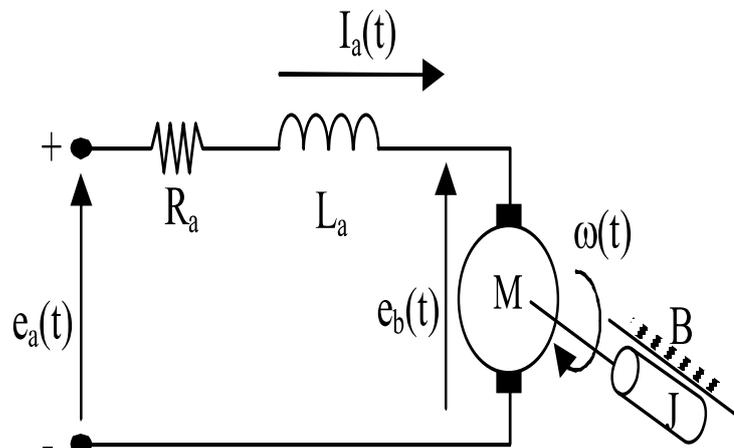
2.6.1 Model Fisik

Motor didefinisikan sebagai alat yang dapat mengubah energi listrik menjadi torsi (*torque*, torka, momen putar) karena adanya arus yang mengalir pada belitan jangkar. Oleh karena itu, motor dapat dimodelkan dengan bagan kotak sesuai Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Bagan kotak model motor secara sederhana [10]

Model fisik dari sebuah motor dc secara lengkap yang menggambarkan bagian elektrik dan mekanik dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 model fisik motor DC [10]

Keterangan:

$e_a(t)$ = tegangan jangkar

$e_b(t)$ = back emf

$\omega(t)$ = kecepatan putar

R_a = tahanan jangkar

L_a = induktansi jangkarr

M = motor

J = momen inersia

B = beban (friction)

2.6.2 Model Dinamik

Model dinamik dari motor dc diperoleh dari persamaan pada model fisiknya, persamaan tersebut dapat dilihat dibawah ini :

1. Bagian elektrik

$$e_{a(t)} - e_b(t) = L_a \frac{di_a(t)}{dt} + R_a i_a(t) \dots \dots [10]$$

2. Bagian mekanik

$$T(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) \dots \dots [10]$$

3. Sifat motor

$$T(t) = K_m I_a(t) \dots \dots [10]$$

4. Sifat generator

$$e_b = K_b \omega(t) \dots \dots [10]$$

Keterangan:

$e_a(t)$ = tegangan jangkar

$e_b(t)$ = back emf

$\omega(t)$ = kecepatan putar

R_a = tahanan jangkar

L_a = induktansi jangkarr

T = torsi elektromagnetik

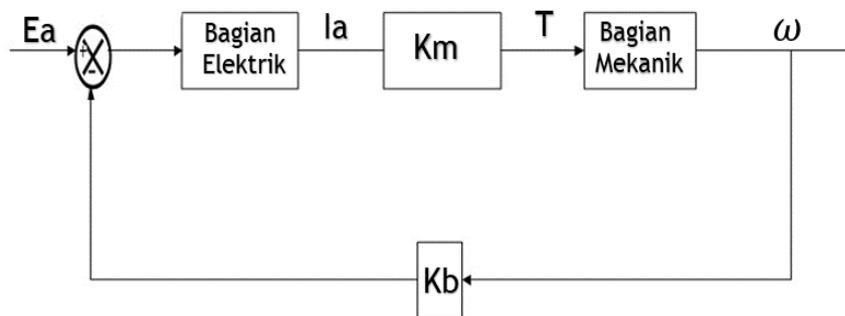
J = momen inersia

B = beban (friction)

I_a = arus jangkar

2.6.3 Model Blok Diagram

Model blok diagram pada motor dc dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Model nisbah alih motor DC [10]