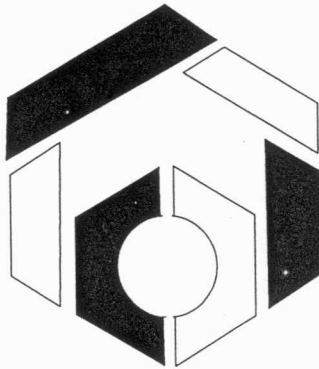


PEMBUATAN PERANGKAT KERAS UNTUK PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR DC

Hasil Penelitian / Pemikiran yang tidak dipublikasikan
Disusun sebagai salah satu syarat untuk
Kenaikan Angka Kredit Jabatan Fungsional Lektor

Oleh
Pipit Anggraeni
197908242005012001



JURUSAN TEKNIK OTOMASI MANUFAKTUR
DAN MEKATRONIKA
POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI BANDUNG BANDUNG
2009

Pembuatan Perangkat Keras untuk Pengendalian Kecepatan Motor DC

Pipit Anggraeni

Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika – POLMAN Bandung, Jl. Kanayakan 21 Bandung,

Email : pipit_anggraeni@polman-bandung.ac.id

Abstrak

Motor listrik sudah menjadi kebutuhan sehari-hari untuk menggerakkan peralatan dan mesin yang membantu pekerjaan. Sebuah motor listrik menggunakan energi listrik untuk menghasilkan energi mekanis. Motor listrik bekerja dengan elektromagnetik, prinsip dasar pada motor yang berbasis elektromagnetik adalah memanfaatkan gaya mekanis pada kawat-kawat pembawa arus yang berada di dalam sebuah medan magnet.

Untuk itu, tugas akhir ini memaparkan tentang bagaimana cara pembuatan rangkaian penggerak motor DC untuk mengatur kecepatan yaitu dengan menggunakan rangkaian H-Bridge yang dikemas sedemikian rupa dalam bentuk IC L298, selain itu bagaimana pembuatan model matematika dari pengendalian kecepatan motor DC tersebut untuk fungsi transfer pada matlab / simulink. Kemudian pembuatan rangkaian umpan balik dari kecepatan motor DC dengan menggunakan sensor kecepatan optocoupler.

Abstract

Electric motors has been needed every day for moving tools and machine which help working. An electric motor used electric energy to produce energy mechanics. Electric motor works with electromagnetic, base principle at motors with basic electromagnetic is to use style force mechanics at wires to bring current in a magnet field.

For that, this final task explain how to make circuit driver DC motor to regulate speed with H-Bridge circuit to prepare in shape IC L 298, beside that how to make mathematic model from to reins DC motor speed to be transfer function at matlab / simulink. Then to make circuit feedback from DC motor speed with use speed sensor optocoupler.

1. Pendahuluan

Motor listrik sudah menjadi kebutuhan sehari-hari untuk menggerakkan peralatan dan mesin yang membantu pekerjaan manusia. Sebuah motor listrik menggunakan energi listrik untuk menghasilkan energi mekanis. Proses kebalikan, yang menggunakan energi mekanis untuk menghasilkan energi listrik, dilakukan dengan sebuah generator atau *dynamo*. Motor listrik bekerja dengan elektromagnetik, prinsip dasar pada motor yang berbasis elektromagnetik adalah memanfaatkan gaya mekanis pada kawat-kawat pembawa arus yang berada di dalam sebuah medan magnet.

Kebanyakan motor magnetis berupa rotari, tetapi motor linier pun ada. Pada sebuah motor rotari, bagian berputar (biasanya di bagian dalam) disebut dengan rotor, dan bagian yang diam disebut stator. Rotor berputar karena kawat-kawat dan medan magnet disusun sedemikian rupa sehingga torsi dihasilkan pada poros rotor. Motor memiliki elektromagnet (magnet listrik) yang dililitkan pada rangka (*frame*) yang disebut arus jangkar. Yang tepat, arus jangkar ini merupakan bagian dari motor dimana masukan tegangan listrik disuplai. Baik rotor ataupun stator dapat bertindak sebagai arus jangkar, tergantung pada desain motornya.

Dalam keseharian motor DC merupakan motor yang sering digunakan dalam sistem kendali. Hal ini dikarenakan motor arus searah berbeda dengan jenis motor-motor lain, terutama dalam hal torsi mula dan momen inersia. Motor arus searah atau yang memiliki torsi mula yang besar dan momen inersia yang kecil, karena motor jenis ini dirancang agar menghasilkan percepatan yang besar pada keadaan diam atau hampir diam, motor-motor biasa tidak bersifat demikian.

Untuk keperluan pengendalian, pengaturan dan supervisi dari suatu peralatan teknik biasanya diperlukan alat pendeteksi berupa alat ukur sinyal listrik, dimana pada awalnya sinyal ini biasanya mempunyai besaran fisika yang bisa diukur sesuai dengan harga besarnya. Besaran sinyal fisika ini kemudian diubah menjadi sinyal listrik oleh sensor/detektor melalui pengukuran.

Sensor digunakan sebagai alat pendeteksi/pengukur sinyal bukan listrik menjadi sinyal listrik yang dalam istilah teknik pengaturan sebagai suatu blok pemberi sinyal harga terukur. Blok ini antara lain terdiri dari piranti absorpsi, piranti sensor, dan elemen khusus yang diperlukan. Jadi pemberi sinyal harga terukur adalah suatu blok piranti sensor dengan keluaran sinyal listrik yang sudah terkalibrasi.

Pengendalian biasanya menggunakan sensor untuk mendeteksi / mengukur keluaran yang akan dikembalikan sebagai umpan balik untuk dibandingkan dengan masukan selaku referensi atau titik setelan. Sistem pengendalian ini disebut sebagai sistem kendali lingkaran tertutup.

Batasan masalahnya

- a. Perancangan dan pembuatan pengendali untuk motor dc.
- b. Motor dc yang digunakan adalah motor dc 12 volt

2. PWM (Pulse Widht Modulation)

Salah satu cara yang paling mudah untuk membangkitkan sebuah tegangan analog dari sebuah nilai digital adalah

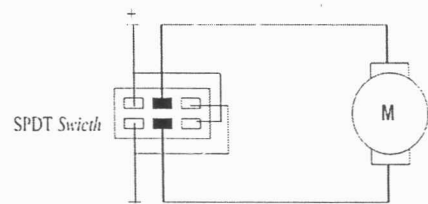
dengan menggunakan *pulse width modulation* (PWM). Dalam PWM gelombang kotak, frekuensi tinggi dibangkitkan sebagai keluaran digital. Untuk contoh, sebuah port bit secara kontinyu melakukan kegiatan saklar *on* dan *off* pada frekuensi yang relatif tinggi. Selanjutnya, bila sinyal diumpankan pada LPF *low pass filter*, tegangan pada keluaran filter akan sama dengan *Root Mean Squere* (RMS) dari sinyal gelombang kotak. Selanjutnya tegangan RMS dapat divariasikan dengan mengubah *duty cycle* dari sinyal.

Duty cycle menyatakan fraksi waktu sinyal pada keadaan logika *high* dalam satu siklus. Satu siklus diawali oleh transisi *low to high* dari sinyal dan berakhir pada transisi berikutnya. Selama satu siklus, jika waktu sinyal pada keadaan *high* sama dengan *low* maka dikatakan sinyal mempunyai *duty cycle* 50 %. *duty cycle* 20 % menyatakan sinyal berada pada logika 1 selama 1/5 dari waktu total.

Penggerak Motor DC

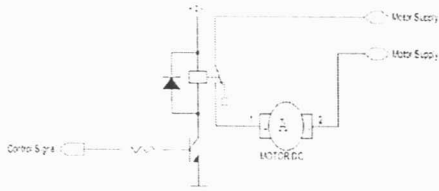
Sesuai dengan namanya, motor dc disuplai dengan tegangan dc (*direct current* = arus searah). Dengan demikian putaran motor dc akan berbalik arah jika polaritas tegangan yang diberikan juga berubah. Motor dc kecil juga terdapat tegangan kerja yang bervariasi, ada yang memiliki tegangan 3V, 6V, 12V dan 24V.

Seperti dijelaskan diatas bahwa pemberian tegangan kerja motor dc diubah, maka arah putaran motor dc juga ikut berubah. Hal ini dapat dijadikan cara untuk mengatur arah putaran motor dc yang digambarkan pada Gambar 2.1 dengan menggunakan saklar DPDT (*double pole double throw*).



Gambar 2.1. Pengaturan Arah Motor dc dengan DPDT Switch

Cara lain selain menggunakan saklar DPDT adalah dengan menggunakan relay. Motor dc dihubungkan dengan sumber daya melalui saklar pada relay.

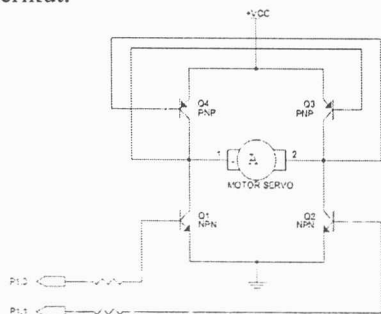


Gambar 2.2. Rangkaian Relay untuk Mengontrol Motor dc.

Kontrol menggunakan relay memiliki kekurangan, karena rangkaian menjadi tidak *solid state* karena relay memiliki bagian mekanik.

Untuk mengontrol motor dc yang bersifat *solid-state* dapat dipakai rangkaian menggunakan transistor. Transistor disusun sedemikian rupa hingga membentuk huruf H atau yang disebut *H-bridge* transistor, *H-bridge* transistor tersusun dari 4 buah transistor dengan memanfaatkan fungsi transistor sebagai saklar, yaitu titik *cut off* dan titik saturasi. Pemilihan transistor yang dipilih dapat mengalirkan arus yang diperlukan oleh motor dc.

Rangkaian untuk mengatur motor DC dengan menggunakan transistor atau *H-bridge* transistor dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3. *H-bridge* Transistor

Dengan metode *H-bridge* transistor di atas, maka arus yang mengalir ke motor polaritasnya dapat diatur dengan memberikan logika ke transistor Q1 dan Q2. Pengaturannya seperti pada tabel berikut.

Tabel 2.1. Tabel Kebenaran Keaktifan Motor

P1.0	P1.1	Motor
0	0	Berhenti
0	1	Putar kanan
1	0	Putar kiri
1	1	-

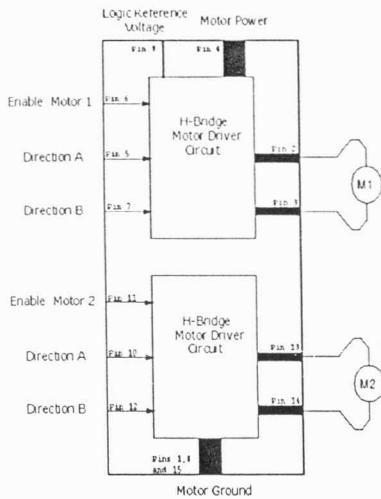
Kondisi *High* (1) untuk semua masukan tidak diijinkan, karena akan mengakibatkan semua transistor aktif dan akan merusak transistor karena secara otomatis arus dari kolektor Q4 dan Q3 langsung mengalir ke Q2 dan Q1 sehingga arus akan sangat besar tanpa melalui beban.

Dengan semakin berkembangnya teknologi dalam dunia elektronika dan semakin diintegrasikan atau dimampatkan setiap komponen sehingga menjadi lebih praktis, ringkas dan efisien ke dalam *integrated circuit* (IC), maka *H-bridge* transistor yang tersusun dari 4 buah transistor yang membentuk huruf H, sudah tersedia pada kemasan IC type L298.

IC L298 merupakan IC buatan SG5 Thomson Microelectron Inc. Untuk mengontrol motor. IC ini menerima kontrol pada *level* DTL maupun TTL dan mampu menjalankan beban induktif seperti relay selenoid, motor dc maupun motor step.

Penggerak motor dengan menggunakan IC penggerak L298 memiliki kemampuan menggerakkan motor DC sampai arus 2A dan tegangan kerja maksimum 40 Volt DC untuk satu kanalnya.

Rangkaian penggerak motor DC dengan menggunakan IC L298 dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.4. Penggerak Motor dc

Kaki *enable* motor 1 dan *enable* motor 2 pada gambar di atas digunakan untuk mengendalikan jalan atau kecepatan motor, kaki *direction A* dan *direction B* digunakan untuk mengendalikan arah putaran motor. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2. Pengaturan IC driver motor

Masukan		Fungsi
En = H	In 1 = H In 2 = L	Kanan
	In 1 = L In 2 = H	Kiri
	In 1 = In 2	Motor berhenti
En = L	In 1 = X In 2 = X	Motor bebas

Keterangan :

H = High (1)

L = Low (0)

X = sembarang

Rangkaian Sensor

Sensor adalah sebuah piranti yg mengindera (*sense*) besaran fisik dan memberitahukan sistem kontrol tentang apa yg sedang terjadi.

- Penginderaan langsung :
laju di tengah aliran.
- Penginderaan tak-langsung :
aliran ditampung dalam bejana terukur selama waktu tertentu.

Sensor Kecepatan Putaran

Sensor ini menghasilkan keluaran yg sebanding dengan kecepatan sudut/putaran.

Jenis-jenis sensor kecepatan putaran :

- Tachometer optik
- Tachometer roda-gigi
- Tachometer arus-searah

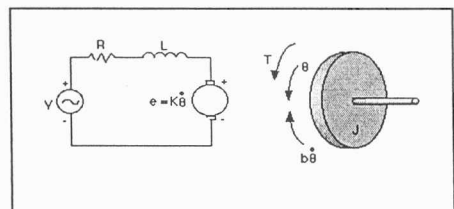
Model matematika dari kecepatan motor dc

Sensor kecepatan pada motor dc, berupa piranti elektronik yang menghasilkan frekuensi pulsa keluaran sebanding dengan besar kecepatan sudut poros motor. Secara umum model matematika sensor kecepatan dapat didekati dengan model sistem orde satu sebagai berikut:

$$\frac{K_s}{\tau_s s + 1}$$

Tetapi karena respon dinamik sensor jauh lebih cepat dibandingkan dengan respon proses, maka konstanta waktu (*time constant*) dan *death time* pada sensor dapat diabaikan. Sehingga fungsi alih sensor dapat didekati dengan penguatan (*gain*) saja. Besarnya gain sensor kecepatan $K_s(s) = 1$.

Model matematika dari motor dc



Gambar 2.5. Rangkaian motor dc

Besaran - Besaran Fisik Motor :

R_a = tahanan jangkar (W)

K_b = konstanta EMF balik

L_a = induktansi kumparan jangkar (H)

I_a = arus kumparan jangkar (A)

T_M = torsi motor (N.m)

- T_D = torsi gangguan (N.m)
- I_f = arus medan(A)
- J = momen inersia ekivalen (kg-m²)
- E_r = tegangan referensi masukan (Volt)
- K_T = konstanta torsi
- f = koefisien gesek viskos (Nm/rad/sec)
- K_t = konstanta tachometer (volt/rad/sec)
- b = damping ratio of the mechanical system
- R = electric resistance
- L = electric inductance

Penurunan Model Matematika Motor dc

Tachometer dc memberikan tegangan keluaran e_t sebanding dengan kecepatan poros motor ω . Tegangan ini dikurangkan dengan tegangan referensi input e_r menghasilkan sinyal *error* (e). Sinyal ini sesudah dikuatkan digunakan untuk mengendalikan arus jangkar ia dari motor dc.

Tachometer dc merupakan generator dc konvensional dengan eksitasi magnet *permanent*. Tegangan keluaran *loop* terbuka diberikan oleh persamaan :

$$e_t = K_t \omega$$

ω dibuat konstan (eksitasi magnet *permanent*), sehingga tegangan keluaran berbanding langsung dengan dengan kecepatan sudut ω . Persamaan diatas dapat ditulis kembali :

$$e_t = k_t \omega$$

dimana k_t (volt/rad/sec) disebut sebagai konstanta tachometer. Tegangan pada terminal jangkar motor diberikan oleh persamaan :

$$e_a = K_b e = K_b (e_r - e_t)$$

Pada loop jangkar berlaku Hukum Kirchoff Tegangan :

$$L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a + K_b \omega = e_a$$

dimana K_b merupakan konstanta emf balik dari motor. Medan konstan, *fluks* konstan dan torsi mempunyai arah sesuai kumparan magnet, sehingga :

$$T_M = K_T i_a$$

$$K_T = \text{konstanta torsi motor.}$$

Arus Jangkar magnet menghasilkan torsi yang bekerja terhadap inersia dan gesekan, sesuai persamaan :

$$T_D + J \frac{d\omega}{dt} + f\omega = T_M = K_T i_a$$

Diasumsikan semua syarat awal adalah nol, kemudian diambil *transformasi Laplace* dari semua persamaan diatas:

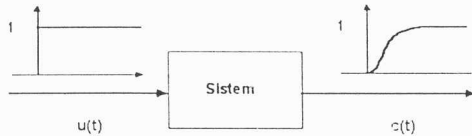
$$\begin{aligned} E_t(s) &= K_t \omega(s) \\ E_a(s) &= K_b [E_r(s) - E_t(s)] \\ L_a s I_a + R_a I_a(s) + K_b \omega(s) &= E_a(s) \\ K_T I_a(s) = T_M(s) &= [Js + f] \omega(s) + T_D(s) \\ T_m(s) - T_D(s) &= [Js + f] \omega(s) \end{aligned}$$

Model Matematika Motor dengan Metode Ziegler-Nichols

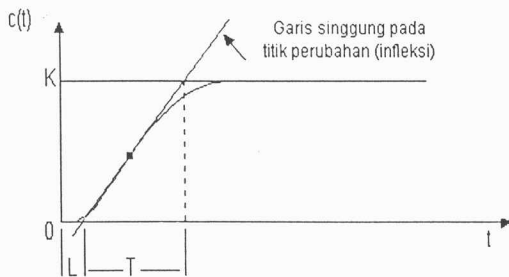
Penalaan parameter pengendali PID berdasar atas tinjauan karakteristik *plant*. Karena penyusunan model matematik *plant* tidak mudah, maka dikembangkan suatu metode eksperimental. Metode ini didasarkan pada reaksi *plant* yang dikenai suatu perubahan. Metode Ziegler-Nichols merupakan suatu metode pendekatan eksperimental penalaan controller PID.

Metode Ziegler-Nichols pertama kali diperkenalkan pada tahun 1942. Metode ini memiliki dua cara, kurva reaksi dan metode osilasi. Kedua metode ditujukan untuk menghasilkan respon sistem dengan

lonjakan maksimum 25%. Metode kurva reaksi berdasar reaksi sistem *loop* terbuka. *Plant* sebagai *loop* terbuka diberi masukan sinyal fungsi *step*, bila *plant* minimal tidak mengandung unsur integrator atau pole-pole kompleks, reaksi sistem akan berbentuk S.



Gambar 2.6. Respon tangga satuan sistem



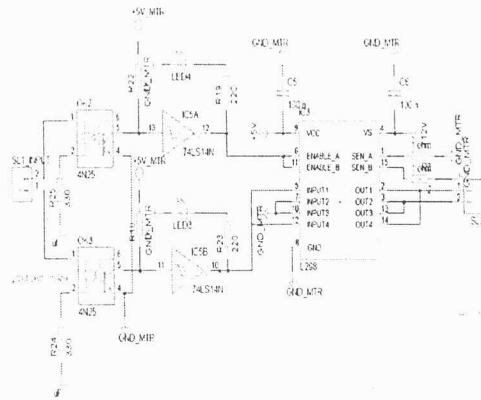
Gambar 2.7. Kurva Respon berbentuk S

Kurva berbentuk S mempunyai dua konstanta, waktu mati (*dead time*) L dan waktu tunda T . Dari gambar 2.15 terlihat bahwa kurva reaksi berubah naik, setelah selang waktu L . Sedangkan waktu tunda menggambarkan perubahan kurva setelah mencapai 66% dari keadaan mantap. Pada kurva dibuat suatu garis yang bersinggungan dengan garis kurva. Garis singgung memotong sumbu absis dan garis maksimum. Perpotongan garis singgung dengan sumbu absis merupakan ukuran waktu mati, dan perpotongan dengan garis maksimum merupakan waktu tunda yang diukur dari titik waktu L .

3. Hasil Rancangan

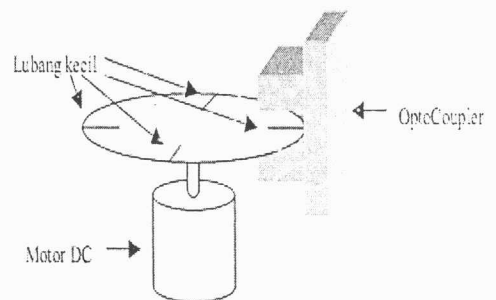
Untuk rangkaian penggerak motor DC digunakan IC L298 yang diperlihatkan pada gambar 3.3. Pin *Enable A* dan *B* untuk mengendalikan jalan atau kecepatan motor, pin masukan 1 sampai 4 untuk mengendalikan arah putaran. Pin *Enable* diberi VCC 5 Volt untuk kecepatan penuh dan PWM (*Pulse Width Modulation*) untuk

kecepatan rotasi yang ber-*variasi* tergantung dari *level high* nya.

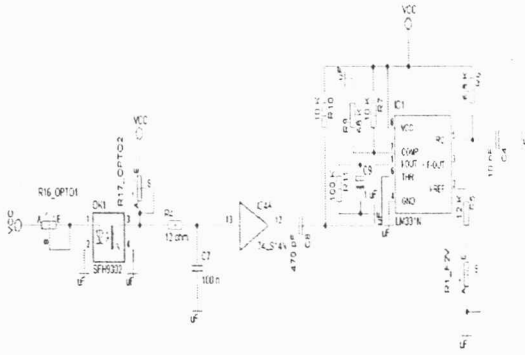


Gambar 3.1. Rangkaian penggerak motor DC dengan L298

Putaran motor didapat dari sensor encoder yaitu optocoupler. Rangkaian sensor kecepatan ini berfungsi untuk menghitung jumlah putaran per satuan waktu dari motor. Hasil dari sensor kecepatan ini digunakan sebagai *feedback* pada *plant* di matlab / simulink. Dengan dibantu lempeng lingkaran yang dilubangi, sensor kecepatan akan menghasilkan pulsa high (\square) jika terdapat lubang. Posisi sensor secara mekanis dapat dilihat pada gambar 3.2. Perlu diingat bahwa jumlah lubang yang dibuat akan mempengaruhi jumlah putaran yang akan terukur dalam satuan waktu. Makin banyak lubang maka pembacaan akan makin sering dan jika dikonversi ke RPM akan didapat hasil yang makin mendekati kondisi aslinya.

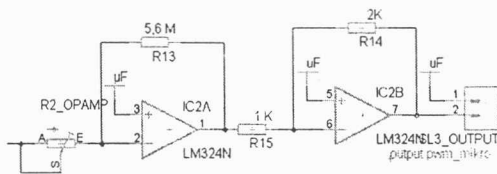


Gambar 3.2. Posisi Mekanis



Gambar 3.3. Rangkaian Sensor Kecepatan dan F to V

Karena tegangan yang bisa terbaca oleh *interfacing* ke matlab berupa dalam satuan *volt*, sedangkan keluaran dari *f to v* masih dalam satuan *mV* maka perlu dikuatkan dengan menggunakan rangkaian *op-amp*.



Gambar 3.4. Rangkaian Penguatan Tegangan

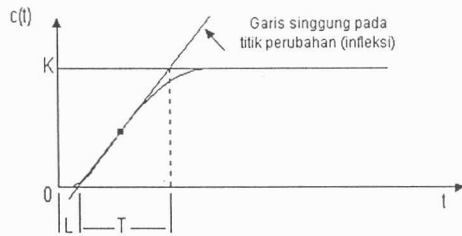
Pengujian Motor Untuk Menentukan Fungsi Transfer *Plant*

Tujuan dari pengujian ini dilakukan adalah untuk memperoleh fungsi transfer yang akan kita gunakan untuk proses pengendalian.

Pengujian motor untuk penentuan fungsi transfer *plant* ini dilakukan dengan cara memberikan masukan *step* pada sistem, maksudnya kita nyalakan dan matikan masukan tegangan dari rangkaian penggerak yang menuju ke motor. Pada perubahan nyala dan padamnya tegangan dilakukan pengamatan sinyal yang keluar dari Tachogenerator, dari hasil pengamatan yang dilakukan .didapat bentuk kurva karakteristik motor. Dari kurva respon *plant* yang didapat maka akan dapat dicari

nilai fungsi *transfer* dari *plant* (motor + rangkaian penggerak).

Pengujian ini juga dapat digunakan untuk menentukan konstanta waktu., Pada *oscilloscope* dengan menggunakan fasilitas *cursor* pada dimensi waktu, kita gunakan *Cursor* pertama Untuk menyimpan titik dimana kurva mulai menunjukkan nilai yang naik dari titik nol, kemudian *cursor* kedua kita simpan untuk mendeteksi sinyal pada saat menunjukkan nilai 63% dari nilai *steady state*.



Gambar 3.5. Gambar kurva acuan

Dari kurva respon yang dibaca melalui *digital oscilloscope*, dapat ditentukan nilai penguatan/*gain* (K) dan konstanta waktu (τ). Nilai penguatan ditentukan dengan rumus :

$$K = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

Nilai V_{in} yang diberikan pada *plant* adalah 12 V DC. Nilai V_{out} *steady state* dari kurva ditentukan dengan menggunakan fasilitas *cursor* pada *digital oscilloscope*. Sehingga, perhitungan nilai penguatan (K) dan konstanta waktu (τ) adalah sebagai berikut :

$$K = \frac{10.8V}{12V} = 0.9$$

$$\tau = 152.86ms$$

$$\tau = 0.153s$$

Maka, fungsi transfer *plant* adalah :

$$FT = \frac{K}{\tau s + 1}$$

$$FT = \frac{0.9}{0.153 s + 1}$$

4. Kesimpulan

Dari hasil perancangan, pembuatan, dan pengaplikasian program matlab / simulink dapat diambil kesimpulan bahwa dengan menggunakan rangkaian *H-Bridge* yang dikemas sedemikian rupa dalam bentuk IC dapat menggerakkan motor DC 12 V yang dikendalikan oleh matlab.

Untuk menentukan fungsi transfer dari motor DC 12 V yaitu dengan cara menggunakan metoda Ziegler-Nichols. Karakteristik dari motor DC 12 V dengan cara mengukur tegangan keluaran dari

motor, yaitu dengan cara mengkoppel dengan motor DC yang lain yang dijadikan sebagai generator yang diukur dengan *oscilloscope*.

Feedback pada plant di matlab digunakan untuk mengetahui *error* yang terjadi pada sistem. Untuk itu diperlukan rangkaian respon terhadap motor yang didapat dari rangkaian sensor kecepatan motor itu sendiri. Untuk menghilangkan *ripple* pada gelombang keluaran digunakan *filter* kapasitor

Daftar Acuan

http://bse.ictjogja.net/04_SMK-MAK/kelas10_smk_teknik-otomasi-industri_widiharso.pdf. 20 Maret 2009.

<http://edensor.wordpress.com/category/uncategorized/>. 13 Mei 2009.

http://www.ittelkom.ac.id/library/index.php?view=article&catid=16%3Amikroprocessor&controller&id=288%3Akomunikasi-serial-rs232&option=com_content&Itemid=1. 5.13 Mei 2009.

<http://shatomedia.com/wp-content/uploads/2008/12/shato-robot-avoidance.pdf>. 2 Mei 2009.

<http://elisa.ugm.ac.id/files/agusarif/qcsbawR9/KP-Slide-03.pdf>. 13 Agustus 2009.

Wicaksono, Deryl. 2008. *Pengembangan Unit Pengolah Daya pada Penggerak*

Motor Dc 4-kuadran Menggunakan Penyearah SCR. Bandung : Politeknik Manufaktur Negeri Bandung.

Tarigan, Sadar A, *PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI ALAT UKUR UNTUK MENETUKAN TORSI MOTOR DC*. 17 November 2008.

<http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/elk/article/view/15862/15854>. 20 Maret 2009.

Modul PRAKTIKUM kendali lanjut. www.norture.com. 10 Juli 2009.