

## PENGATURAN KECEPATAN MOTOR DC SHUNT DENGAN MIKROKONTROLER M68HC11

Oleh : Agus Imam M  
L2F 096 561

### Abstraksi

Makalah ini membahas mengenai pengaturan kecepatan motor dc shunt dengan metoda arus medan terkontrol. Jika motor dc dibebani maka kecepatannya akan turun, untuk mempertahankannya maka arus medan shunt diatur sehingga kecepatan motor dapat terjaga pada nilai yang diinginkan. Kecepatan motor dc shunt berbanding terbalik dengan besarnya arus medan shunt yang mengalir, sehingga dengan memperkecil arus medan tersebut maka kecepatan motor dapat diperbesar. Pengaturan dilakukan dengan dc chopper yang dikendalikan dengan pulsa PWM. Pembangkitan pulsa PWM ini menggunakan mikrokontroler M68HC11.

### I. Pendahuluan

Motor dc masih banyak digunakan di lingkungan industri terutama sebagai penggerak utama mesin-mesin produksi. Jika beban yang diterapkan pada motor dc bertambah maka kecepatannya akan turun, sehingga motor tersebut harus diatur agar kecepatannya konstan. Pengaturan motor dc dapat dilakukan melalui tiga cara yaitu (1) pengaturan fluks medan ( $\Phi$ ), (2) pengaturan tahanan jangkar ( $R_a$ ), dan (3) pengaturan tegangan masukan. Pada tugas akhir ini pengaturan motor dc shunt dilakukan dengan cara mengatur arus medan.

Tugas akhir ini bertujuan untuk membuat sebuah alat yang dapat digunakan untuk mengatur (mempertahankan) kecepatan motor dc meskipun beban berubah-ubah. Pengaturan dilakukan dengan mikrokontroler M68HC11 sehingga sistem menjadi lebih fleksibel.

Karena kompleksnya permasalahan dalam perancangan alat ini maka perlu adanya batasan-batasan untuk menyederhanakan permasalahan, yaitu

- Beban motor dc berupa generator sinkron, yang digunakan untuk menyuplai beban resistif (lampu).
- Kecepatan motor dipertahankan pada kecepatan nominalnya dengan toleransi sekitar  $\pm 5\%$ .
- Pengaturan dilakukan dengan sistem kalang tertutup (*close loop*) tanpa pengolah sinyal kesalahan (*controller*).
- Pengaturan kecepatan motor dc dilakukan dengan mengatur besarnya arus medan shunt melalui *dc chopper*.
- Pembuatan alat dengan menggunakan mikrokontroler M68HC11.
- Harmonisa yang ditimbulkan karena pengaruh *switching* pada *dc chopper* diabaikan.

### II. Dasar Teori dan Perancangan Alat

#### 2.1 Motor dc

Motor listrik adalah sebuah alat yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.

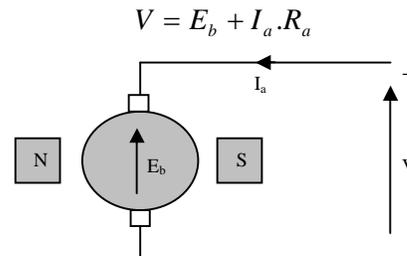
Prinsip dasarnya adalah jika sebuah penghantar yang dialiri arus listrik diletakkan dalam medan magnet, maka pada kawat penghantar tersebut akan bekerja suatu gaya <sup>[1][3]</sup>:

$$F = B.I.L.\sin\theta$$

Pada saat rotor berputar, maka kumparan jangkar juga akan ikut berputar sehingga akan memotong garis gaya magnet, maka pada penghantar tersebut akan diinduksikan tegangan listrik (*Back EMF*), yang besarnya adalah :

$$E_b = \Phi.Z.N.\frac{P}{A}$$

Tegangan sumber yang diterapkan pada kumparan jangkar digunakan untuk mengatasi gaya gerak listrik lawan dan untuk mengatasi jatuh tegangan karena adanya tahanan jangkar.



Gambar 2.1 Gaya gerak listrik lawan

Sedangkan torsi yang dihasilkan oleh motor adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} T &= \frac{P}{\omega} = \frac{E_b.I_a}{2\pi N} \\ &= \frac{1}{2\pi} \Phi.Z.I_a.\frac{P}{A} (N-m) \end{aligned}$$

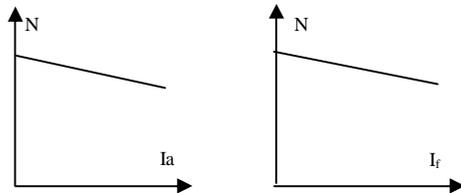
Kecepatan motor dc dapat dirumuskan seperti pada persamaan berikut ini :

$$N = K \frac{V - I_a.R_a}{\Phi} \text{ rps}$$

Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa kecepatan motor dapat diatur dengan tiga cara yaitu<sup>[1][13]</sup> :

- Mengatur fluks pada kutub utama motor ( $\Phi$ )
- Mengatur tahanan jangkar ( $R_a$ )
- Mengatur tegangan masukan yang digunakan oleh motor ( $V_t$ ).

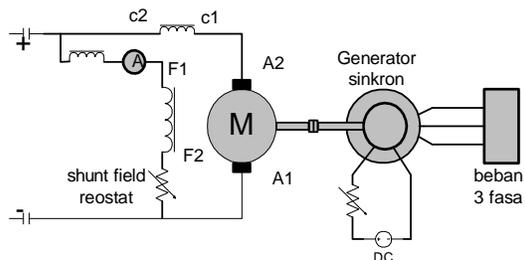
Dalam tugas akhir ini pengaturan kecepatan motor dilakukan dengan cara mengatur besarnya fluks (arus medan  $I_f$ ) pada kutub utama motor.



Gambar 2.2 Pengaruh  $I_a$  dan  $I_f$  terhadap kecepatan motor ( $N$ )

Dari kedua karakteristik tersebut dapat dijadikan dasar untuk mengatur kecepatan motor dc shunt. Jika terjadi penurunan kecepatan motor akibat kenaikan arus beban ( $I_a$ ), maka arus medan ( $I_f$ ) diatur (diperkecil) sehingga kecepatan motor tetap dapat dipertahankan pada putaran yang diinginkan.

Dalam perancangan alat ini *plant* utamanya menggunakan peralatan yang terdapat pada modul hampden, yang terdiri dari sebuah motor dc shunt sebagai *plant* yang akan dikontrol kecepatannya dan sebuah generator sinkron sebagai beban.

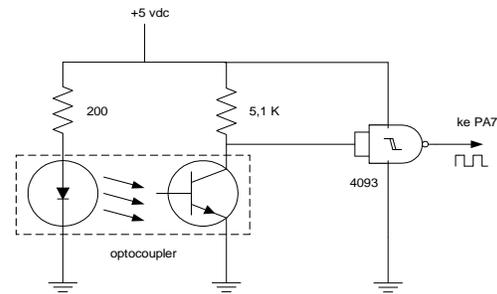


Gambar 2.3 Motor dc dan generator sinkron

## 2.2 Rangkaian sensor

Rangkaian sensor berfungsi untuk mengetahui kecepatan putaran motor. Rangkaian ini terdiri dari sebuah led infra merah (IRLED) dan sebuah transistor peka cahaya (*phototransistor*), pasangan led dan fototransistor ini biasa disebut dengan *optocoupler*. Pada sela (*slot*) antara LED dan fototransistor terdapat sebuah piringan yang mempunyai lubang-lubang sebanyak 120 buah dan piringan tersebut dipasang pada sumbu rotor motor dc. Pada saat motor berputar maka piringan tersebut juga akan ikut berputar, sehingga akan memotong pancaran sinar dari led yang menuju ke fototransistor, dengan demikian sinyal keluaran dari phototransistor akan berupa gelombang kotak, dengan dutycycle 50%.

## Makalah Seminar Tugas Akhir

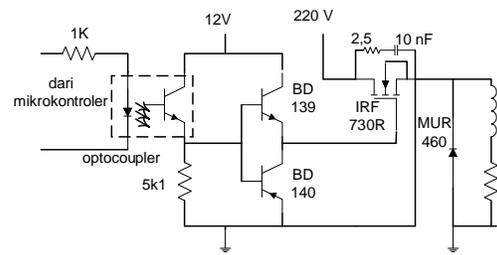


Gambar 2.4 Rangkaian sensor

Perubahan kecepatan motor akan terdeteksi oleh sensor, selanjutnya sinyal keluaran dari sensor ini akan dimasukkan ke PA7 untuk diproses lebih lanjut.

## 2.3. Rangkaian penggerak MOSFET

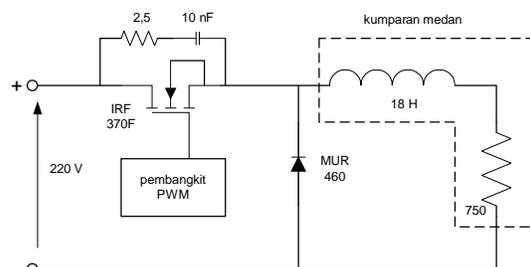
Sinyal PWM dari PA3 tidak bisa langsung menggerakkan MOSFET, sehingga harus diperkuat melalui rangkaian *MOSFET driver* ini. Antara mikrokontroler dengan penggerak MOSFET ini harus dipisah secara elektrik dengan optokopler. Hal ini bertujuan untuk memisah rangkaian daya dengan rangkain kontrol, sehingga rangkaian kontrol dapat terhindar dari kerusakan.



Gambar 2.5 Rangkaian penggerak MOSFET

## 2.4 Rangkaian dc chopper

Komponen utama yang digunakan untuk memenggal tegangan searah dalam tugas akhir ini adalah MOSFET IRF 370F yang mempunyai tegangan sumber dan cerat maksimal ( $V_{DS\ max}$ ) 400 V dan arus  $I_{DS}$  maksimal 4,5 A. Gerbang MOSFET digerakkan oleh sinyal PWM (*Pulse Wide Modulation*) berfrekuensi 500 hz yang berasal dari rangkaian penggerak (*MOSFET driver*). Sedangkan pulsa PWM itu sendiri dibangkitkan oleh mikrokontroler M68HC11.



Gambar 2.6 Rangkaian dc chopper

Rangkaian dc chopper ini bekerja pada 2 mode konduksi, yang pertama pada saat MOSFET on dan kedua pada saat MOSFET off. Pada saat kondisi MOSFET hidup tegangan yang terjadi adalah :

$$V = Ri_1 + L \frac{di_1}{dt}$$

Dengan kondisi awal  $i_1(0) = I_1$ , maka arus yang mengalir pada kondisi tersebut adalah :

$$i_1(t) = I_1 e^{-\frac{R}{L}t} + \frac{V}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t})$$

Sedangkan pada kondisi MOSFET mati, persamaan tegangan yang terjadi adalah :

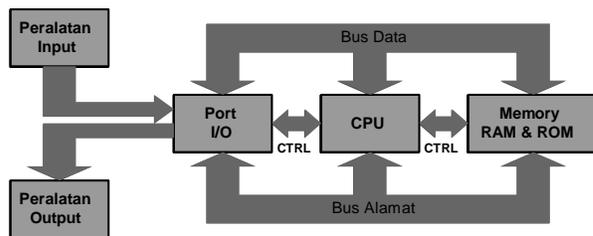
$$0 = Ri_2 + L \frac{di_2}{dt}$$

Dengan memberikan kondisi awal  $i_2(0) = I_2$ , maka arus yang mengalir pada kondisi ini adalah :

$$i_2(t) = I_2 e^{-\frac{R}{L}t}$$

**2.5 Sistem minimum mikrokontroler M68HC11**

Mikrokontroler merupakan sebuah piranti yang dapat menjalankan perintah - perintah yang diberikan kepadanya dalam bentuk baris-baris program yang dibuat untuk pekerjaan tertentu.



Gambar 7 Blok diagram mikrokontroler

**2.5.1 Organisasi memori**

Dalam pembuatan Tugas Akhir ini, penulis menggunakan mikrokontroler buatan motorola dengan seri M68HC11A1. Mikrokontroler ini mempunyai suatu keping tunggal yang memuat suatu sistem mikrokontroler terintegrasi dengan konfigurasi sebagai berikut:

1. RAM dengan kapasitas 256 byte.
2. EEPROM dengan kapasitas 512 byte.
3. Port A, merupakan kombinasi masukan dan keluaran sebanyak 8 bit, yaitu port A0-PA7 untuk input, A3-A6 sebagai output dan A7 dapat digunakan sebagai input atau output.
4. Port B dan Port C, merupakan port data dan alamat. Port B untuk alamat atas (ADDR8, ADDR9, ..., ADDR15) dan Port C untuk data dan alamat bawah (ADDR0, ADDR1, ..., ADDR7)
5. Port D, yang dapat di kembangkan sebagai jalur SPI (Serial Peripheral Interface).

6. Port E, port masukan baik analog maupun digital ke dalam sistem mikrokontroler M68HC11.

Dari pemetaan memori gambar 8, maka pada tugas akhir ini digunakan blok-blok memori sebagai berikut.

1. Data program ditempatkan pada alamat E000 – FFFF yang merupakan tempat *power on program*. Pada alamat ini ditempatkan EPROM untuk menyimpan baris-baris program.
2. RAM untuk penyimpanan data hasil proses sementara sebesar 8 kilo *byte* diletakkan pada alamat C000.

0000	1FFF	RAM internal dan Register fungsi khusus
2000	B5FF	Kosong
B600	B7FF	EEPROM internal
B800	DFFF	Kosong
E000	FFFF	Power on Program

Gambar 8 Pemetaan alamat memori mikrokontroler M68HC11

**2.5.2 Port A sebagai *output compare***

Port A terdiri dari 8 pin yang terbagi menjadi 3 pin masukan dan 4 pin keluaran dan sebuah pin yang dapat dioperasikan sebagai keluaran dan masukan (*I/O*). Ketiga pin masukan (PA0/IC3, PA1/IC2, dan PA2/IC1) juga dapat berfungsi sebagai pin *input capture*. Sedangkan keempat pin keluaran (PA3/OC5/OC1, PA4/OC4/OC1, PA5/OC3/OC1, dan PA6/OC2/OC1) bisa difungsikan sebagai pin *output compare*.

Pin *output compare 1 (OC1)* mempunyai fungsi khusus, jika keempat pin keluaran telah difungsikan sebagai *output compare*, maka keempat pin ini dapat dikontrol oleh *output compare 1 (OC1)*. Sedangkan pin ketujuh (PA7/PAI/OC1) dapat digunakan sebagai *general purpose I/O*, masukan *pulse accumulator*, atau sebagai pin OC1. Gambar 2.15 menunjukkan fungsi dari masing-masing pin pada *port A* yang terdiri dari 8 pin, dan masing-masing pin ditunjukkan dengan PA0 – PA7.<sup>[9]</sup>

IC3	IC2	IC1	OC5/OC1	OC4/OC1	OC3/OC1	OC2/OC1	PAI/OC1
PA0...	PA1...	PA2...	PA3	PA4	PA5	PA6	PA7

Gambar 9 Konfigurasi port A

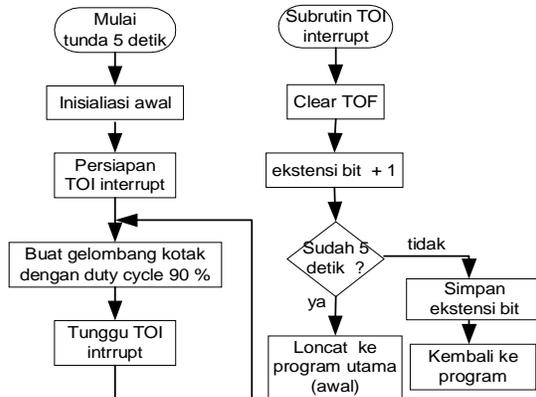
Setiap pin yang digunakan sebagai *output compare (OC2 – OC5)* mempunyai register tersendiri yang disebut *Timer Output Compare Register (TOCx)*. CPU akan memerintahkan *output compare (OCx)* untuk melakukan aksi tertentu jika isi *free running Count* sama dengan

isi register ( $TOC_x$ ), aksi yang harus dilakukan ini meliputi<sup>[8]</sup>:

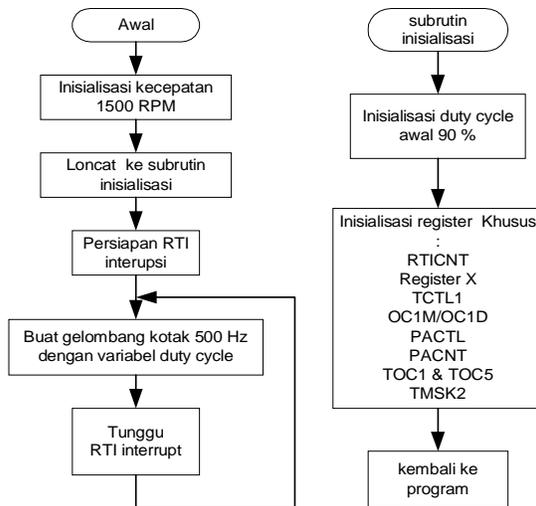
- Set, reset, toggle
- Mengeset OC status flag
- Menghasilkan OC interrupt

**2.6 Perancangan perangkat lunak**

Perangkat lunak (*software*) merupakan bagian yang tidak bisa dipisahkan dari perangkat keras (*hardware*) sistem minimum. Gambar 10, 11, 12 berikut ini merupakan diagram alir yang digunakan dalam perancangan tugas akhir ini :



Gambar 10. Alur program tundaan awal

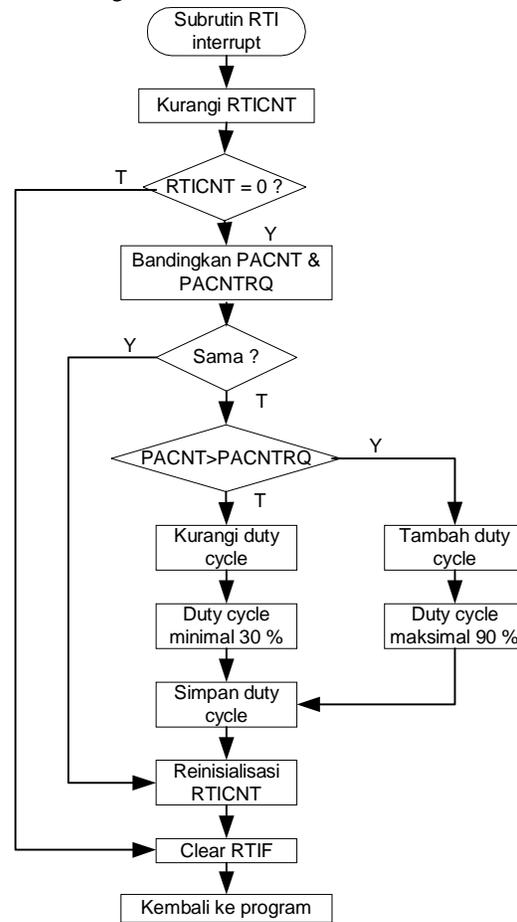


Gambar 11. Alur program utama

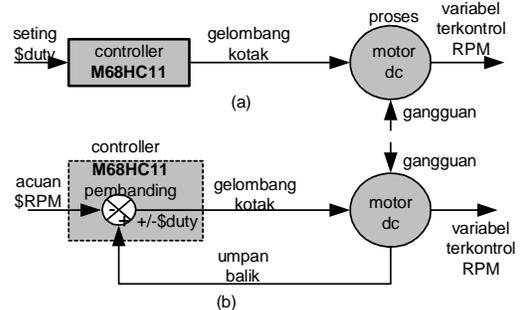
**2.7 Konsep dasar pengaturan kalang tertutup**

Sistem pengaturan ada 2 macam yaitu sistem pengaturan kalang terbuka dan sistem pengaturan kalang tertutup. Pada sistem pengaturan kalang terbuka hasil keluarannya tidak berpengaruh pada aksi kontrol, atau dengan kata lain keluarannya tidak dapat digunakan sebagai perbandingan umpan balik dengan masukannya. Setiap masukan acuan berhubungan dengan kondisi operasi tertentu,

sehingga ketepatan dari sistem tergantung pada kalibrasi. Dengan adanya gangguan, maka sistem pengaturan kalang terbuka tidak dapat melakukan tugas seperti yang diharapkan. Gambar 13 merupakan gambar sistem kalang tertutup dan sistem kalang terbuka.



Gambar 12. Alur program RTI interrupt



Gambar 13 (a) sistem kalang terbuka (b) sistem kalang tertutup

Sistem pengaturan kalang tertutup sering juga disebut dengan kontrol umpan balik. Pada sistem ini, sinyal keluaran dibandingkan kembali dengan nilai acuan sehingga akan dihasilkan

kesalahan (*error*) yang digunakan untuk mengatur keluaran agar sesuai dengan nilai yang dikehendaki. Keuntungan dari sistem ini adalah penggunaan umpan balik yang membuat respon sistem relatif kurang peka terhadap gangguan luar dan perubahan dalam parameter sistem.

### III. Pengujian dan Analisa

Setelah rancangan sistem selesai dibuat, maka untuk mengetahui kelayakannya perlu diadakan pengujian terhadap sistem tersebut. Pengujian dilakukan terhadap perangkat keras maupun perangkat lunak yang telah dibuat.

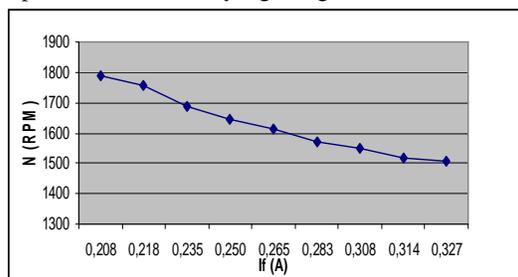
#### 3.1 Pengujian kalang terbuka tanpa beban

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan arus medan shunt terhadap kecepatan motor dc. Dari pengujian ini diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 1. Data Pengujian kalang terbuka tanpa beban

No	$I_a$ (A) Arus jangkar	$I_f$ (A) Arus medan Shunt	N (RPM) Kecepatan motor
1	0,75	0,327	1508
2	0,75	0,314	1520
3	0,75	0,308	1550
4	0,75	0,283	1570
5	0,75	0,265	1615
6	0,75	0,250	1645
7	0,75	0,235	1685
8	0,75	0,218	1755
9	0,75	0,208	1790

Dari data hasil pengujian diatas (tabel 1) dapat diperoleh grafik seperti pada gambar 3.1. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa kecepatan yang terjadi berbanding terbalik dengan arus medan ( $I_f$ ), sehingga semakin besar arus medan maka kecepatan motor tersebut akan semakin berkurang. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengatur tahanan medan shunt, hingga diperoleh arus medan yang diinginkan.



Gambar 3.1 Grafik pengaruh  $I_f$  terhadap N

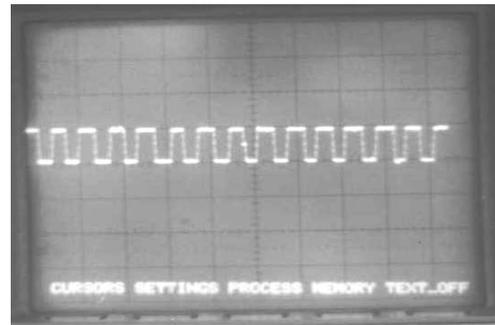
#### 3.2 Pengujian kalang terbuka berbeban

Pada pengujian motor dc berbeban ini arus medan shunt dibuat tetap sedangkan beban yang dipikul oleh motor ditambah terus, sampai

kemampuan beban maksimalnya. Beban yang diterapkan kemotor dc berupa beban elektris, yaitu berupa generator sinkron yang digunakan untuk menyuplai lampu. Hasil pengujian kalang terbuka berbeban ini dapat dilihat pada tabel 2.

#### 3.3 Pengujian rangkaian sensor

Rangkaian sensor kecepatan terdiri dari sebuah *optocoupler* dan sebuah piringan berlubang yang dipasang pada sumbu motor dc.



Gambar 3.2 Sinyal keluaran dari rangkaian sensor

Gambar sinyal osiloskop diatas diamati pada  $V/div = 5$  Volt dan  $t/div = 0,5$  ms. Periode sinyal sensor tersebut adalah

$$T = 0,65 \times 0,5 \text{ ms}$$

$$T = 0,325 \text{ ms}$$

Sehingga dari gambar sinyal tersebut dapat diketahui besarnya kecepatan motor (RPM) dari rumus berikut ini :

$$\begin{aligned} RPM &= \frac{60}{120 \cdot T} \\ &= \frac{60 \times 1000}{120 \times 0,325} \\ &= 1538,5 \text{ RPM} \end{aligned}$$

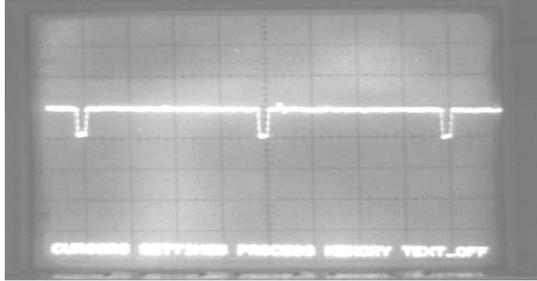
#### 3.4 Pengujian penggerak MOSFET dan dc chopper

Dari pengujian ini diperoleh data seperti pada tabel 2 berikut ini :

Tabel 2. Hasil dc chopper

No	D (%)	V (volt)	$I_f$ (A)
1	92	213,75	0,285
2	86	183,75	0,245
3	81	157,50	0,21
4	76	146,25	0,195
5	71	137,25	0,183
6	71	131,25	0,175
7	69	128,25	0,171
8	67	123	0,164
9	64	117,75	0,157

Gambar 3.3 berikut ini adalah bentuk sinyal PWM dari penggerak MOSFET pada *duty cycle* 95%.



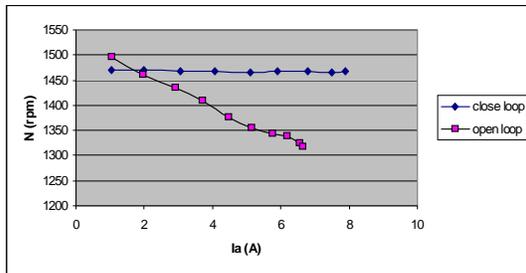
Gambar 3.3 Sinyal keluaran penggerak MOSFET

### 3.5 Pengujian sistem secara keseluruhan

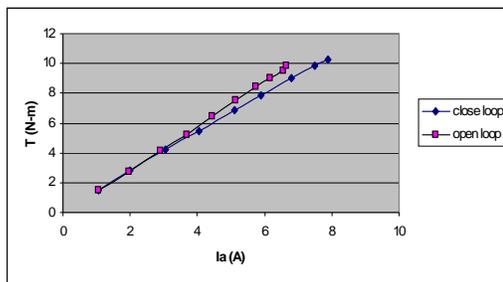
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dari alat yang telah dibuat. Pengujian dilakukan dengan sistem kalang tertutup, dan mengubah-ubah beban yang dipikul oleh motor dc, sehingga dapat diketahui pengaruh pembebanan terhadap kecepatan dan torsi motor. Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan diperoleh data seperti pada tabel 3.

### 3.6 Analisa dan pembahasan

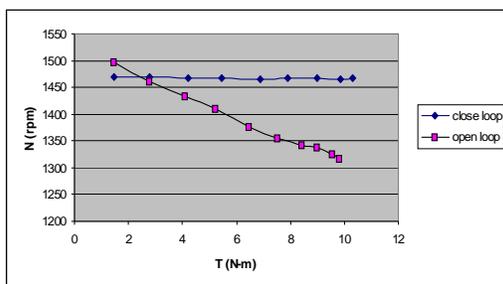
Dari hasil pengujian kalang terbuka dan kalang tertutup (tabel 2 dan 3), dapat dibuat grafik seperti pada gambar berikut ini :



Gambar 3.4. Grafik kecepatan terhadap arus jangkar



Tabel 2. Data hasil pengujian motor dc dengan kalang terbuka



Gambar 3.5 Grafik torsi terhadap arus jangkar

Gambar 3.6 Grafik kecepatan terhadap torsi

Pada motor berbeban dengan sistem kalang terbuka, terlihat adanya penurunan kecepatan motor jika arus jangkar semakin bertambah besar (beban yang dipikul semakin besar). Pada saat belum diberi beban, motor berputar pada kecepatan nominalnya yaitu 1500 rpm, tetapi setelah diberi beban kecepatannya akan semakin berkurang dan pada saat beban terbesar kecepatan motor turun hingga 1317 rpm.

Sedangkan pada pengujian motor berbeban dengan sistem kalang tertutup terlihat bahwa kecepatan motor dapat dijaga tetap konstan meskipun arus jangkar (beban) bertambah. Akan tetapi pada pengujian dengan sistem kalang tertutup ini terdapat perbedaan kecepatan antara kecepatan acuan dengan kecepatan aktualnya. Kecepatan aktual motor dapat terjaga konstan sekitar 1470 rpm, meskipun kecepatan acuannya sebesar 1500 rpm. Namun demikian penyimpangan ini masih dalam batas toleransi yang diperbolehkan.

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa torsi yang dihasilkan oleh motor dengan sistem kalang terbuka dan sistem kalang tertutup hampir sama. Torsi motor sebanding dengan arus medan dan arus jangkar, atau dapat dituliskan sebagai berikut :

$$T = K I_f I_a$$

Pada saat beban bertambah kecepatan motor akan turun, dan untuk menaikkan kecepatan yang turun tersebut arus medan harus diperkecil. Tetapi pada kenyataannya penurunan arus medan ( $I_f$ ) ini hanya menurunkan torsi sedikit, hal ini karena penurunan arus medan diimbangi dengan kenaikan arus jangkar. Dengan adanya kenaikan arus jangkar ini menyebabkan motor lebih cepat mencapai arus beban penuh. Dari tabel 4.2 (kalang terbuka) dan tabel (4.4) kalang tertutup dapat diketahui bahwa pada beban yang sama, arus jangkar pada sistem kalang tertutup akan lebih besar dari pada arus jangkar pada sistem kalang terbuka. Kondisi ini akan menyebabkan pengontrolan motor dc shunt kalang tertutup (dengan arus medan terkontrol) lebih cepat mencapai arus beban penuh, jika dibandingkan dengan sistem kalang terbuka.

No	N (RPM)	V <sub>L</sub> (Volt)	P <sub>L</sub> (Watt)	L <sub>L</sub> (A)	I <sub>A</sub> (A)	I <sub>f</sub> (A)	E <sub>b</sub> (Volt)	T <sub>m</sub> (N.m)	T <sub>g</sub> (N.m)
0	1497	194	0	0	1,05	0,329	217,38	1,46	0
1	1460	184	73	0,39	1,97	0,328	215,08	2,77	1,433
2	1434	177	139	0,77	2,90	0,328	212,75	4,108	2,771
3	1410	172	198	1,14	3,70	0,328	210,75	5,255	4,022
4	1376	166	250	1,49	4,45	0,328	208,88	6,459	5,207
5	1355	159	293	1,82	5,15	0,328	207,13	7,519	6,2
6	1343	152	327	2,13	5,75	0,325	205,63	8,408	6,984
7	1338	145	353	2,41	6,17	0,318	204,58	9	7,567
8	1325	136	368	2,68	6,55	0,15	203,63	9,554	7,959
9	1317	125	370	3,12	6,65	0,311	203,38	9,812	8,054

Tabel 3. Data hasil pengukuran dengan sistem kalang tertutup.

No	N (RPM)	V <sub>L</sub> (VOLT)	P <sub>L</sub> (watt)	I <sub>L</sub> (A)	I <sub>A</sub> (A)	I <sub>f</sub> (A)	D (%)	E <sub>b</sub> (Volt)	T <sub>m</sub> (N-m)	T <sub>g</sub> (N-m)
0	1470	190	0	0	1,05	0,285	92	217,38	1,48	0
1	1470	184	73	0,39	2	0,245	86	215	2,8	1,42
2	1467	181	142	0,77	3,05	0,21	81	212,38	4,22	2,77
3	1468	178	207	1,15	4,06	0,195	76	209,85	5,45	4,04
4	1466	174	268	1,52	5,1	0,183	71	207,25	6,88	5,24
5	1467	169	318	1,87	5,9	0,175	71	205,25	7,89	6,21
6	1468	162	362	2,20	6,8	0,71	69	203	8,98	7,07
7	1465	156	393	2,50	7,5	0,164	67	201,25	9,84	7,69
8	1467	147	410	2,77	7,89	0,157	64	200,28	10,29	8

### 3.7 Kesimpulan

Dari perancangan dan pembuatan tugas akhir dengan judul Pengaturan Kecepatan Motor DC Shunt Dengan Mikrokontroler M68HC11 ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pembuatan alat pengaturan kecepatan motor dc shunt dengan mikrokontroler M68HC11 dapat diselesaikan dan bekerja dengan baik.
2. Kecepatan motor dapat dibuat konstan dengan toleransi 2,3 % meskipun motor dibebani sampai beban penuh.
3. Pengaturan dengan sistem kalang tertutup memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan sistem kalang terbuka.
4. Torsi yang dihasilkan oleh motor tetap.
5. Pengaturan motor dc shunt kalang tertutup dengan metoda arus jangkar terkontrol, menyebabkan motor lebih cepat mencapai kondisi beban penuh jika dibandingkan dengan sistem kalang terbuka.

### 3.8 Saran

1. Pengaturan dengan sistem kalang tertutup dilengkapi dengan *controller* untuk mengolah sinyal kesalahan (*error*) sehingga pengontrolan menjadi lebih baik.
2. Perlu penambahan peralatan proteksi untuk melindungi motor dari kerusakan.

### DAFTAR PUSTAKA

- 1) Theraja, B.L., *A Text Book Of Technology*, Nirja Construction & Development Co. (P) Ltd, 1980
- 2) Ir. Hermawan, *Pengukuran Listrik*, Program Studi Teknik ElektroUNDIP, 1989
- 3) Kanginan, M, *Fisika*, Erlangga, Jakarta 1994
- 4) Fitzgerald,A.E, Charles Kingsley, JR, *Electric Machinery*, 2<sup>nd</sup> Edition, McGraw Hill Book Company, INC, New York, 1961
- 5) Muhaimin, Drs, *Bahan-Bahan Listrik Untuk Politeknik*, Pradnya Paramita, Jakarta 1993.
- 6) \_\_\_\_\_, *Power MOSFET Basic*, Vrej Barkhordarian, Int, Rec. El Segundo, Ca
- 7) Mohan, Ned, Tore M. Undeland, William P. Robbins, *POWER ELECTRONIC : Converter, Application, and Design*, John Willey & Sons, Inc, New York, 1989.
- 8) Skroder, John, *Using The M68HC11 Mikrocontroller, A Guide To Interfacing And Programming The M68HC11 Mikrocontroller*, Prentice-Hall International, Inc, 1997

- 9) M68HC11, *Reference Manual*, Motorola Inc, 1991
- 10) Malvino, AP, PhD, *Prinsip-Prinsip Elektronika*, edisi ketiga jilid 1, Erlangga, Jakarta, 1994.
- 11) Rashid, M. H, *Power Electronics : Circuits, Devices, and Applications*, 2<sup>nd</sup> edition, Prentice-Hall International, Inc New Jersey, 1988.
- 12) Ogata, K, *Teknik kontrol otomatis*, jilid 1 edisi kedua, PT. Penerbit Erlangga, 1996
- 13) Lister, Eugene, *Mesin dan Rangkaian Listrik*, edisi keenam, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993.
- 14) Tocci Ronald J, Neals Wedner, *Digital System : Principles and Applications*, 7<sup>th</sup> editions, Prentice Hall International Inc, 1998.
- 15) Zaks, Rodnay, *Dari Chip ke Sistem : Pengantar Mikrokontroler*, Erlangga, Jakarta, 1991
- 16) Marapung, Muslimin, Ir, *Teori Soal Penyelesaian Teknik Tenaga Listrik (TTL)*, Penerbit Armico, Bandung, 1979.
- 17) Karyadi, Ir, *Transformasi Laplace*, Penerbit Usaha Nasional, Jakarta.
- 18) \_\_\_\_\_, *Student manual for Hampden Experimental*, Motor-Generator Set REM-1 CMMP.

Mengetahui  
Dosen Pembimbing II

Mochammad Facta, ST, MT  
NIP. 132 231 134