

**PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI PENGENDALIAN KECEPATAN
MOTOR DC PENGUATAN TERPISAH MENGGUNAKAN PWM
BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 8535**

*Decy Nataliana, M.T.
Hari Wahyudi, M.T.
Perdi Rusdiansyah, S.T.*

*Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Nasional (ITENAS) Bandung*

ABSTRAK

Motor DC merupakan komponen aktuator yang sangat dibutuhkan untuk proses produksi. Karakteristik utama yang harus dimiliki motor DC saat proses tersebut berlangsung adalah mampu bergerak dengan kecepatan konstan, akan tetapi pada kenyataannya motor DC akan mendapatkan pembebanan ketika beroperasi yang mengakibatkan kecepatannya menurun dan ketika beban lepas putaran motor dc menjadi dipercepat. Berangkat dari kondisi tersebut maka diperlukan suatu pengendalian kecepatan motor DC yang mampu mempertahankan putaran pada suatu nilai RPM tertentu (*set point*) baik saat ada beban ataupun tidak. Dalam penelitian ini akan dirancang sistem pengendalian kecepatan motor DC. Motor yang digunakan adalah motor dc penguatan terpisah yang dikendalikan dengan PWM (*Pulse Width Modulation*) yang dibangkitkan oleh mikrokontroler ATMEGA 8535.

Sistem yang dirancang terdiri atas beberapa sub sistem, yaitu sub sistem mikrokontroler ATMEGA 8535, penguat, *gate driver* IC TCA 785, semikonverter AC-DC 1 fasa, motor DC penguatan terpisah, dan sub sistem sensor. Sub sistem mikrokontroler digunakan sebagai pusat pengendali serta pengolahan data yang didalamnya telah dilakukan penetapan *set point* pada nilai tertentu sebagai acuan putaran bagi motor DC. Sub sistem penguat berfungsi sebagai penguat sinyal PWM yang dibangkitkan mikrokontroler, sehingga mikrokontroler mampu mengendalikan nilai tegangan yang masuk ke *gate driver* IC TCA 785. Sub sistem *gate driver* IC TCA 785 digunakan untuk membangkitkan pulsa penyalan thyristor pada sub sistem semikonverter AC-DC 1 fasa. Sub sistem semikonverter AC-DC 1 fasa digunakan sebagai penyearah terkendali untuk suplai tegangan motor DC penguatan terpisah. Jumlah putaran motor DC akan terus terpantau oleh sub sistem mikrokontroler dengan adanya sub sistem sensor.

Kata Kunci : Semikonverter AC-DC 1 Fasa, Motor DC penguatan terpisah, PWM, *set point*.

D.c.motor is a real actuator component required for production process. Principal characteristic of which must be owned d.c.motor when the process takes place is can make a move with constant speed, however practically d.c.motor will get encumbering when operating resulting its (the speed declines and when disengaged payload of revolution of d.c.motor becomes quickened. Leaves from the condition hence required an operation of speed of d.c.motor capable to maintain revolution at one particular certain RPM value (*set point*) either when there are payload and or no. In this research will designed operation system of speed of d.c.motor. Motor applied is separate amplification d.c.motor controlled with PWM (*Pulse Width Modulation*) what awakened by mikrokontroler ATMEGA 8535.

System designed consisted of some sub system, that is system sub mikrokontroler ATMEGA 8535, brace, *gate driver* IC TCA 785, semikonverter AC-DC 1 phase, separate amplification d.c.motor, and censor system sub. System sub mikrokontroler applied as center controller and data processing in by it has been done setting of *set point* at certain value as revolution reference for d.c.motor. Functioning brace system sub as signal brace PWM awakened by mikrokontroler, so that mikrokontroler can control strain value stepping into *gate driver* IC TCA 785. System sub *gate driver* IC TCA 785 applied to awaken modulation of firing of thyristor at system sub semikonverter AC-DC 1 phase. semikonverter AC-DC 1 sub system fase applied as rectifier in control for separate amplification d.c.motor strain supply. Number of d.c.motor revolutions would continuously be watched by system sub mikrokontroler with existence of sensor sub system.

Key word : Semikonverter AC-DC 1 Fasa, Separately Exited DC Motor, PWM, *set point*.

PENDAHULUAN

Seiring dengan kemajuan teknologi di berbagai bidang memaksa dunia industri harus senantiasa dapat beradaptasi. Banyak cara yang ditempuh selama proses adaptasi berlangsung, dimulai dengan peremajaan alat hingga pembelian alat baru. Namun, untuk merealisasikan kebijakan ini sebuah perusahaan harus mengeluarkan dana yang tidak sedikit. Oleh karena itu, langkah lain yang dapat dilakukan tanpa harus mengeluarkan dana yang terlalu besar adalah dengan melakukan adaptasi sistem operasi dari alat-alat yang digunakan.

Mengingat bahwa motor DC yang dipakai akan senantiasa mendapatkan perubahan beban selama beroperasi, maka perlu diterapkan suatu jenis pengendali yang mampu mengatur kecepatan putaran motor sehingga motor dapat berputar dengan kecepatan konstan baik saat pembebanan ataupun saat tanpa beban. Hal ini menjadi penting karena dengan konstannya pergerakan motor maka barang yang dihasilkan dari proses produksi akan senantiasa konstan.

Pengendalian kecepatan motor dc dapat dilakukan dengan mengubah tegangan yang diberikan pada jangkar, medan, atau keduanya (jangkar dan medan). Sistem penggerak terdiri dari motor dc dan pengendali. Untuk mensuplay tegangan pada motor dc digunakan AC to DC Semikonverter satu fasa sebagai penyearah dengan mengatur sudut penyalan melalui rangkaian pembangkit pulsa (IC TCA 785), sedangkan kendali yang digunakan adalah PWM (*Pulse Width Modulation*) yang dikendalikan nilai *duty cycle*-nya oleh mikrokontroler ATMEGA 8535. Besarnya nilai *duty cycle* yang dikeluarkan disesuaikan besarnya perbedaan kecepatan putaran motor dengan nilai *set point*. Sehingga diperoleh kecepatan motor sesuai dengan kebutuhan. Kecepatan putaran motor secara *real time* diperoleh dari sensor yang dirancang untuk mendeteksi putaran motor.

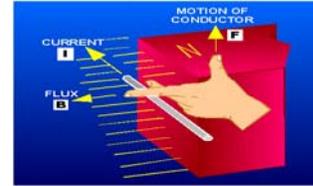
Plant yang digunakan di dalam tugas akhir ini adalah motor dc penguatan terpisah.

Perancangan dan Implementasi ini bertujuan untuk menerapkan kendali PWM agar kecepatan motor DC selalu konstan.

Pada penelitian ini permasalahan ditekankan pada : Motor dc yang dipakai adalah penguat terpisah dengan pengaturan tegangan jangkar, putaran maksimal motor DC penguatan terpisah sebesar 1500 rpm, *Gatedriver* (aktuator) pembangkit pulsa (sudut penyalan) untuk Ac to Dc Semikonverter 1 fasa digunakan IC TCA 785, kendali yang digunakan adalah PWM (*Pulse Width Modulation*) yang dibangkitkan oleh Mikrokontroler ATMEGA 8535, serta besarnya nilai *set point* telah ditetapkan di dalam Mikrokontroler.

Motor DC Penguatan Terpisah

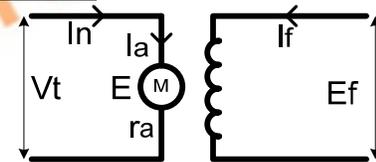
Mesin listrik dapat berfungsi sebagai motor listrik apabila didalam motor listrik tersebut terjadi proses konversi dari energi listrik menjadi energi mekanik.



Gambar 2.1 Prinsip Kerja Motor DC

Berdasarkan Gambar 2.1 Apabila arus dialirkan pada kumparan jangkar dan kumparan medan diberi penguatan, maka akan timbul gaya *LORENT* pada tiap sisi dari kumparan jangkar, yang menimbulkan momen (kopel) sehingga rotor berputar. Arah putaran jangkar ditentukan oleh kaidah tangan kiri dari aturan hukum *FLEMING*. Dimana jari telunjuk menunjukkan fluksi sebesar *B*, jari tengah menunjukkan arah arus *I*, dan jari jempol menunjukkan arah gaya sebesar *F*, serta *L* adalah panjang lilitan, maka persamaannya sebagai berikut :

$$F = B I L \dots\dots\dots(2.1)$$



Gambar 2.2 Rangkaian Pengganti Motor DC Penguatan Terpisah

Dari Gambar 2.2 maka dapat dirumuskan :

$$I_a = I_n$$

$$V_t = E_a + I_a R_a + e$$

$$I_f = \frac{E_f}{R_f}$$

$$P_i = V_t I_n$$

Dimana :

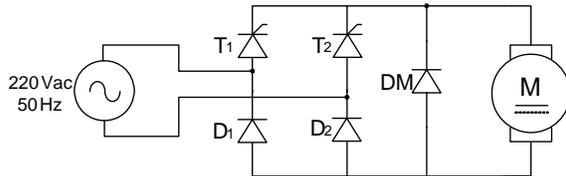
- Ia : Arus jangkar (A)
- In : Arus nominal (A)
- If : Arus medan (A)
- Vt : Tegangan jepitan (V)
- Pi : Daya masuk motor (W)
- Ea : Gaya gerak listrik (V)
- Ef : Tegangan medan (V)
- e : Rugi sikat (V)

Thyristor / SCR

Thyristor merupakan salah satu komponen semikonduktor daya yang paling penting dan telah banyak digunakan secara ekstensif pada rangkaian daya. Thyristor biasanya digunakan sebagai saklar, beroperasi antara keadaan non konduksi ke konduksi.

Semikonverter AC-DC 1 Fasa

Rangkaian semikonverter berfungsi sebagai penyearah tegangan AC ke DC untuk suplai tegangan motor DC penguatan terpisah, semikonverter 1 fasa merupakan penyearah terkendali yang menggunakan 2 buah dioda dan 2 buah thyristor yang mampu mengatur daya masuk motor dc.



Gambar 2.3 Semikonverter AC-DC 1 Fasa

$$V_{dc} = \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2V_m}{2\pi} [-\cos \omega t]_{\alpha}^{\pi}$$

$$= \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha) [volt] \dots\dots\dots(2.2)$$

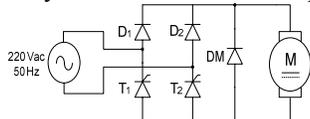
IC TCA 785

Realisasi dari jenis rangkaian penyulut bermacam-macam dimulai dari yang paling sederhana, menggunakan dioda, sampai dengan yang kompleks yaitu menggunakan IC TCA 785. Bila dibandingkan dengan penyulut yang lain, penggunaan IC TCA 785 mempunyai keuntungan sebagai berikut :

1. Penetapan titik nol yang lebih tetap.
2. Pengaturan sudut penyulutan mulai dari 0° sampai dengan 120°.
3. Daerah pemakaian yang lebih besar.
4. Rating dari arus kerja relatif kecil, mulai dari 250mA sampai dengan 500mA.
5. Tegangan kerja 15 Volt.
6. Dapat digunakan untuk pengontrol tiga fasa (3φ)

Dioda Freewhelling

Adanya Dioda Freewhell arus pembuangan dari beban dapat disirkulasikan kembali pada motor. Sehingga kontinuitas dari arus beban dapat terjaga.

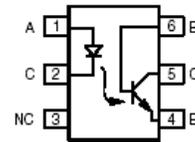


Gambar 2.4 Rangkaian Dioda Freewhelling (DM)

Rangkaian Proteksi Gate

Rangkaian pengaman yang digunakan pada kontrol kecepatan motor dc adalah rangkaian pengaman dengan proteksi gate. Proteksi gate yang dimaksud disini merupakan rangkaian pemisah yang

diperlukan agar blok rangkaian pada pembangkit pulsa terisolasi terhadap rangkaian daya.



Gambar 2.5 IC 4N25 sebagai pengaman

Rangkaian Penguat

Rangkaian penguat berfungsi sebagai penguat sinyal PWM yang dihasilkan mikrokontroler sebagai masukan kontrol tegangan pada IC TCA 785. Sehingga nilai *duty cycle* PWM dari penguat ini mampu menyuplai IC TCA 785 dengan tegangan 1 – 7 Vdc.

Mikrokontroler ATmega 8535

Mikrokontroler merupakan pusat pengendali yang didalamnya telah diisi instruksi-instruksi atau program sehingga mampu mengatur kerja sistem secara keseluruhan. Disamping itu, mikrokontroler digunakan juga sebagai pengolahan data sensor sehingga dapat diketahui besarnya putaran motor dalam satuan RPM (*Rotate per Minute*). Pada tugas akhir ini mikrokontroler yang digunakan adalah ATmega 8535.

Tipe ini dipilih karena mampu menghasilkan PWM secara internal dengan melakukan pengaturan khusus pada fitur timer yang dimilikinya.

Sensor

Sensor yang digunakan dalam sistem ini adalah sensor inframerah dan phototransistor yang berfungsi untuk mendeteksi objek berupa warna hitam dan putih pada *rotary encoder* sehingga didapatkan nilai putaran motor DC.

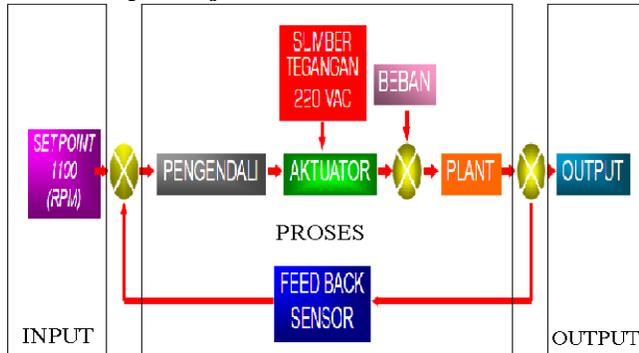
Data ini penting karena menjadi *feed back* sistem sehingga mikrokontroler dapat menetapkan apakah putaran motor dipercepat atau diperlambat. Dari *feed back* ini juga dapat diketahui apakah putaran motor telah sama dengan *set point* atau belum. Apabila sudah, maka tugas mikrokontroler adalah mempertahankan keadaan agar motor berputar konstan pada kecepatan tersebut.

LCD

LCD digunakan untuk menampilkan data kecepatan putaran motor DC yang diperoleh dari sensor dan nilai *set point*.

METODE PENELITIAN

Metode Perancangan dan Implementasi Deskripsi Kerja Sistem



Gambar 2.6 Blok diagram sistem kontrol loop tertutup

Input merupakan bagian pertama dari sistem yang berupa *set point*, sebagai acuan kecepatan motor.

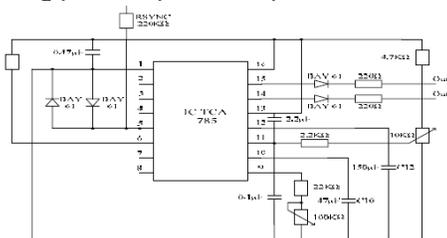
Proses merupakan bagian pengendali, nilai input akan diproses sehingga menghasilkan kecepatan motor DC sesuai nilai *set point*. Jika nilai output tidak sesuai dengan nilai *set point* maka sensor kecepatan akan memberikan perintah ke pengendali untuk mencapai *set point*.

Output merupakan bagian *plant* dari sistem, sehingga terjadi putaran pada motor DC penguatan terpisah.

Implementasi Perangkat Keras

Rangkaian IC TCA 785

Untuk penyearah gelombang 1Φ yang terkontrol, karena input dari tegangan jala-jala mempunyai beda fase 180° maka dibutuhkan pulsa penyalan yang mempunyai beda fase 180° untuk setiap siklus tegangan positif dan negatif. Hal ini dapat diatasi dengan cara mengambil tegangan input dari sinkronisasi IC diatas (terdapat pada kaki no 5). Rangkaian pembangkit pulsa untuk penyearah 1Φ gelombang penuh dapat dilihat pada Gambar 3.5:



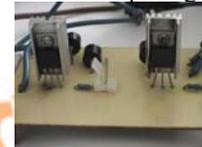
Gambar 3.1 Rangkaian IC TCA 785

Keluaran IC pada kaki (no 14) untuk pulsa penyalan tegangan siklus negatif jala-jala sedangkan kaki (no 15) untuk penyalan dari siklus positif jala-jala.

Rangkaian Semikonverter AC-DC 1 Fasa

Semikonverter Ac ke Dc satu fasa dirancang untuk bekerja sebagai penyearah terkendali yang mampu menyalakan tegangan sumber satu fasa untuk mensuplai motor dc penguat bebas. Rangkaian Semikonverter Ac ke Dc satu fasa membentuk jembatan penyearah dengan dua buah komponen thyristor dan dua buah dioda yang terpasang secara berseberangan.

Dalam menentukan pemasangan sumber tegangan bolak-balik, perlu diperhatikan pemasangan thyristor yang bekerja pada daerah siklus tegangan input yang sama, karena bila tidak sesuai maka rangkaian semiconverter tersebut tidak dapat bekerja. Dalam pemasangan thyristor 2 dan Dioda 1 yang dipasang secara seri dihubungkan pada sumber fasa, sedangkan thyristor 4 dan Dioda 3 yang terpasang secara seri dihubungkan dengan netral. Seperti gambar berikut :

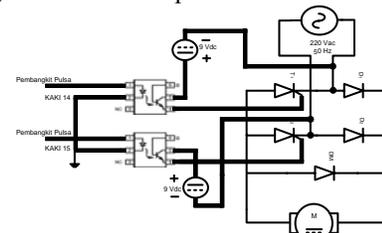


Gambar 3.2 Rangkaian semikonverter satu fasa

Thyristor yang digunakan adalah tipe BT 152s, tegangan kerja mencapai 600 volt, arus kerja 13 - 20 A. Thyristor akan aktif apabila diberi arus *gate* sebesar 100 mA.

Rangkaian Pengaman (PROTECTION)

Penyalan thyristor yang dilakukan oleh pembangkit pulsa IC TCA 785 membutuhkan rangkaian proteksi gate sebagai media isolasi antara rangkaian kontrol dengan rangkaian daya. Proteksi yang digunakan adalah optoisolator.

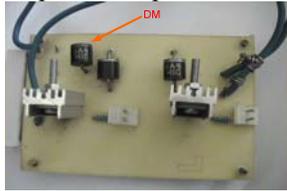


Gambar 3.3 Rangkaian Pengaman

Rangkaian Dioda Freewhelling

Dioda freewhelling mulai on pada saat semikonverter tidak lagi beroperasi untuk menghasilkan tegangan yang searah, namun akan terjadi pembuangan energi dalam bentuk arus oleh beban yang bersifat induktif tinggi. Adanya dioda freewhelling arus pembuangan dari beban dapat disirkulasikan kembali pada motor. Sehingga kontinuitas dari arus beban dapat terjaga.

Peletakan dari komponen dioda freewheeling pada rangkaian tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.7 :



Gambar 3.4 Dioda Freewhelling

Motor DC Penguatan Terpisah

Kumparan jangkar :

Tegangan jangkar = 180 V
Arus Jangkar = 15 A

Kumparan medan :

Tegangan medan = 220 V
Eksitasi medan = 2 A

Motor DC digunakan sebagai beban dari semikonverter satu fasa, sedangkan motor dc penguatan bebas sendiri dikopling dengan sebuah mesin dc dengan spesifikasi sama, sedangkan fungsinya sebagai generator dc yang menghasilkan tegangan dc, kemudian keluaran dari generator dc tersebut dihubungkan pada beban berupa lampu.



Gambar 3.5 Motor DC penguatan Terpisah yang dikopel dengan generator.



Gambar 3.6 Gambar beban berupa lampu pijar.

Mikrokontroler ATMEGA 8535

Mikrokontroler bertindak sebagai pengendali kinerja keseluruhan sistem kendali loop tertutup.

Penggunaan PORT pada mikrokontroler :

PORT B : Rangkaian Penguat

PORT C : LCD

PORT D : Sensor

Rangkaian Penguat

Rangkaian Penguat membutuhkan catu daya sebesar 10 Vdc dan 5 Vdc. Input pada rangkaian ini berupa sinyal PWM yang dibangkitkan oleh mikrokontroler ATMEGA 8535.

Sensor

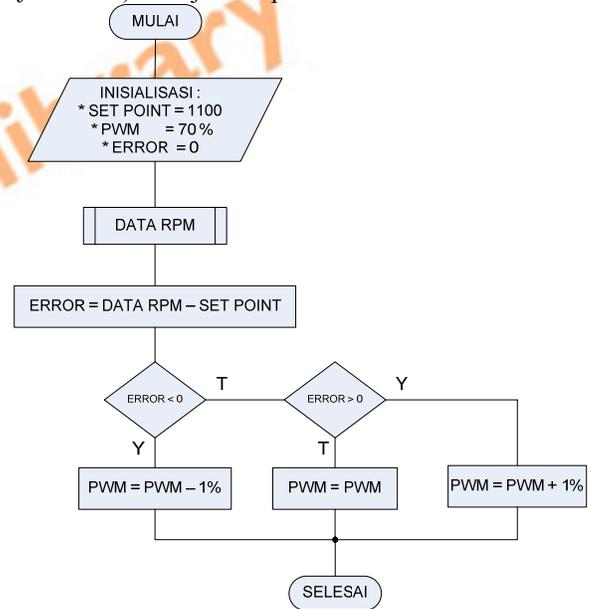
Sensor dirancang untuk membaca putaran motor (rpm), sehingga dapat memberikan *feedback* ke mikrokontroler. Sensor mendeteksi rotary encoder berwarna hitam dan putih, dimana warna hitam sensor berlogika 1 (aktif) dan warna putih berlogika 0 (tidak aktif).

LCD

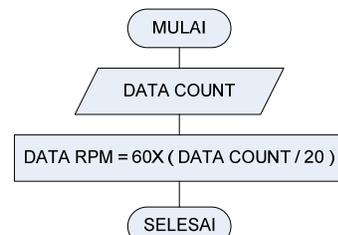
LCD digunakan untuk menampilkan nilai *set point* yang kita inginkan dan putaran motor dc sesuai data rpm dari sensor. LCD dipasang pada PORT C dari mikrokontroler ATMEGA 8535.

Implementasi Perangkat Lunak

Mikrokontroler ATMEGA 8535 sebagai pengontrol kerja seluruh sistem, oleh karena itu diperlukan program yang mampu mengontrol kerja dari sistem. Sebelum masuk ke perangkat lunak, terlebih dahulu diperlihatkan aliran kerja system (*flowchart*) ditunjukkan pada Gambar 3.15 :



Gambar 3.7 Flowchart Sistem



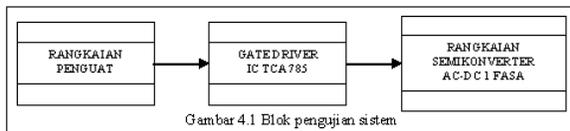
Gambar 3.8 Sub rutin DATA RPM

Mula-mula nilai *set point* ditetapkan, nilai PWM di atur sebesar 70 %, error keadaan pertama sebesar 0.

Saat motor DC berputar maka sensor akan mendeteksi putaran yang terjadi, putaran tersebut merupakan data RPM. Sensor mengirim data RPM ke mikrokontroler, kemudian mikrokontroler akan membandingkan hasil data RPM dengan *set point*. Besarnya nilai error merupakan selisih antara data RPM dikurangi nilai *set point*. Jika nilai error < 0 maka PWM = PWM + 1%, jika tidak apakah error > 0, jika ya maka PWM = PWM dan jika tidak maka PWM = PWM - 1.

Data RPM didapatkan dari hasil pembacaan putaran (data count) dibagi jumlah encoder yang terdeteksi kemudian dikali 60.

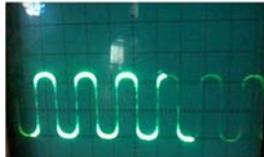
HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.1 Blok pengujian sistem

Pada Gambar 1 menjelaskan blok pengujian sistem yang akan dilakukan.

Pengujian Gate Driver IC TCA 785



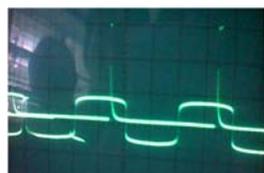
Gambar 2 Gelombang Output IC TCA 785 (kaki 5)

Gambar (2) merupakan gelombang yang dihasilkan oleh IC TCA 785 sebagai sinyal pendeteksi 0° pada gelombang sinus.



Gambar 3 Gelombang Output IC TCA 785 Tanpa Sudut Penyalaan (kaki 5)

Gambar (3) merupakan pulsa positif untuk sudut penyalan 30°-180°, sehingga pulsa ini dapat dikatakan bekerja pada siklus positif dari rangkaian semikonverter AC-DC 1 fasa.



Gambar 4 Gelombang Output IC TCA 785 dengan Sudut Penyalaan 180° (kaki 5)

Gambar (4) merupakan pulsa negatif untuk sudut penyalan 210°-360°, sehingga pulsa ini dapat dikatakan bekerja pada siklus negatif dari rangkaian semikonverter AC-DC 1 fasa.

Sumber tegangan bolak-balik (AC) merupakan sumber tegangan untuk semikonverter 1 fasa 220V, 50 Hz. Semikonverter 1 fasa merupakan rangkaian penyearah terkendali. Tegangan keluaran dari semikonverter satu fasa tergantung pada sudut penyalan thyristor. Sudut penyalan sebesar 30° menghasilkan tegangan keluaran semikonverter bernilai maksimum, sedangkan sudut penyalan sebesar 180° akan diperoleh tegangan keluaran bernilai minimum. Besar kecilnya nilai tegangan keluaran semikonverter 1 fasa dapat dihitung menggunakan persamaan (2.2) sebagai berikut :

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} [1 + \cos \alpha] (\text{volt})$$

$$V_m = \sqrt{2}(V_{rms}) = \sqrt{2}(220) = 311 [\text{volt}]$$

$$V_{dc} = \frac{311}{\pi} [1 + \cos 0^\circ] = 198 (\text{volt})$$

$$V_{dc} = \frac{311}{\pi} [1 + \cos 30^\circ] = 185 (\text{volt})$$

$$V_{dc} = \frac{311}{\pi} [1 + \cos 45^\circ] = 169 (\text{volt})$$

$$V_{dc} = \frac{311}{\pi} [1 + \cos 60^\circ] = 148.6 (\text{volt})$$

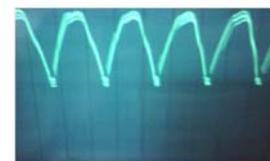
$$V_{dc} = \frac{311}{\pi} [1 + \cos 90^\circ] = 99 (\text{volt})$$

$$V_{dc} = \frac{311}{\pi} [1 + \cos 120^\circ] = 49.5 (\text{volt})$$

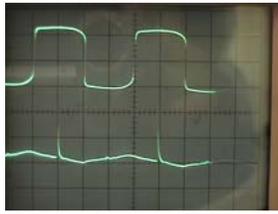
$$V_{dc} = \frac{311}{\pi} [1 + \cos 150^\circ] = 13.3 (\text{volt})$$

$$V_{dc} = \frac{311}{\pi} [1 + \cos 180^\circ] = 0 (\text{volt})$$

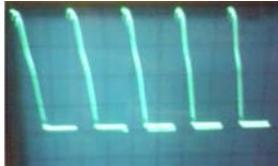
Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan (2.2) diperoleh tegangan sebesar 198 Vdc dengan bentuk gelombang seperti pada Gambar (4.4).



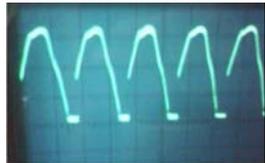
Gambar 5 Gelombang Output Semikonverter AC-DC 1 Fasa



Gambar 4.6 Gelombang Keluaran IC TCA 785 dengan Pulsa Penyalaan 90°



Gambar 4.7 Gelombang Keluaran Semikonverter Satu Fasa dengan Sudut Penyalaan 90°



Gambar 6 Gelombang Output Semikonverter AC-DC 1 Fasa dengan sudut penyalaan 45°

Dari hasil perhitungan diperoleh tegangan searah (Vdc) pada sudut penyalaan 45° sebesar 169 Vdc, sehingga gelombang output dari rangkaian semikonverter 1 fasa dapat dilihat pada Gambar (4.5). Berdasarkan Gambar (4.4) dan (4.5) didapatkan suatu analisis bahwa semakin besar sudut penyalaan maka tegangan keluaran semakin kecil, sedangkan dengan sudut penyalaan yang kecil diperoleh tegangan yang besar, oleh karena itu hubungan antara sudut penyalaan dengan tegangan keluaran semikonverter 1 fasa adalah berbanding terbalik.

Pengujian nilai putaran motor DC penguatan terpisah tanpa beban

Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran menggunakan tachometer yang diukur pada poros motor DC dengan pembacaan sensor yang ditampilkan melalui LCD.

Tabel 1 : Data pengujian Tachometer - LCD

Pembacaan Tachometer (rpm)	Pembacaan LCD (rpm)
50	55
100	110
567	570
1000	1010
1500	1515

Hasil pengujian terdapat perbedaan hasil pembacaan putaran motor DC antara tachometer dengan sensor yang ditampilkan oleh LCD, hal ini dikarenakan pada tachometer terjadi gesekan antara ujung tachometer dengan poros motor.

Namun perbedaan tersebut masih dalam batas kewajaran sehingga nilai rpm yang dibaca oleh sensor dapat digunakan sebagai *feedback* bagi mikrokontroler.

Pengujian sudut penyalaan gate driver IC TCA 785 dengan tegangan penguat

Tabel 2 : Data pengujian sudut penyalaan-tegangan kontrol

SUDUT PENYALAAAN (°)	TEGANGAN KONTROL (V)
30	1
45	2
60	3
90	4
120	5
150	6
180	7

Dari Tabel (2) dapat diketahui bahwa untuk mengatur sudut penyalaan, rangkaian penguat cukup memberikan tegangan ke gate driver IC TCA 785 sebesar 1-7 V sehingga mampu memberikan sudut penyalaan 30-180°. Besar kecilnya tegangan keluaran penguat tergantung besarnya *duty cycle* PWM yang dikeluarkan mikrokontroler ATMEGA 8535.

Pengujian sudut penyalaan dengan duty cycle

Tabel 3 : Data pengujian *duty cycle* – sudut penyalaan

DUTY CYCLE (%)	SUDUT PENYALAAAN (°)
10	30
20	45
30	60
40	90
50	120
60	150
70	180

Dari Tabel (3) terlihat bahwa hubungan antara *duty cycle* dengan sudut penyalaan adalah berbanding lurus, sehingga untuk merubah sudut penyalaan dari 30° hingga 180° mikrokontroler harus memasukkan sinyal PWM ke dalam pin tegangan kontrol IC TCA 785 dengan perubahan nilai *duty cycle* dari 10% hingga 70%.

Pengujian *duty cycle* terhadap putaran motor DC penguatan terpisah tanpa beban

Tabel 4 : Data pengujian *duty cycle*-putaran

DUTY CYCLE (%)	PUTARAN (rpm)
10	>>1500
20	>1500
30	1500
40	1194
50	282
60	56
70	0
80	-
90	-
100	-

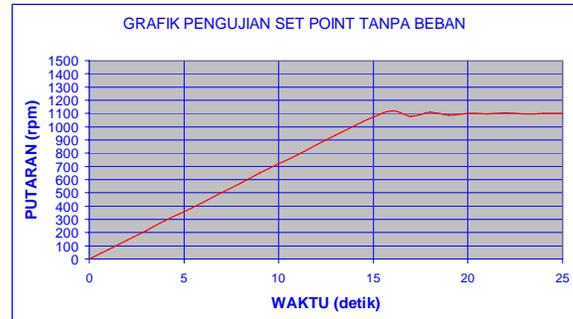
Dari Tabel (4) terlihat bahwa perubahan *duty cycle* berbanding terbalik dengan besarnya putaran motor, sehingga untuk menaikkan putaran motor mikrokontroler harus menurunkan *duty cycle* PWM. Jika dilakukan korelasi antara Tabel (3) dan Tabel (4) terlihat bahwa untuk mencapai kecepatan maksimum motor DC nilai *duty cycle* mencapai kecepatan maksimum motor DC. Nilai *duty cycle* yang dibangkitkan berkisar antara 70-30 %, artinya sudut penyalakan yang dibangkitkan adalah berkisar antara 60°-180°

Pengujian waktu pencapaian *set point* tanpa beban

Tabel 5 : Data pengujian putaran-waktu

WAKTU (detik)	PUTARAN (rpm)
25	1100
24	1102
23	1099
22	1105
21	1098
20	1100
19	1090
18	1110
17	1080
16	1120
15	1076
14	1006
13	935
12	862
11	790
10	720
9	648
8	575
7	503
6	432

WAKTU (detik)	PUTARAN (rpm)
5	360
4	289
3	215
2	143
1	73
0	0



Gambar 4.6 Grafik pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk sistem mencapai *set point*.

Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *set point* adalah ±15 detik pada saat tanpa beban, karena dalam program untuk menaikkan atau menurunkan error yang terjadi yaitu dengan cara menaikkan *duty cycle* 1% dan menurunkan *duty cycle* 1%, sehingga kurang cepat mengatasi error yang tinggi.

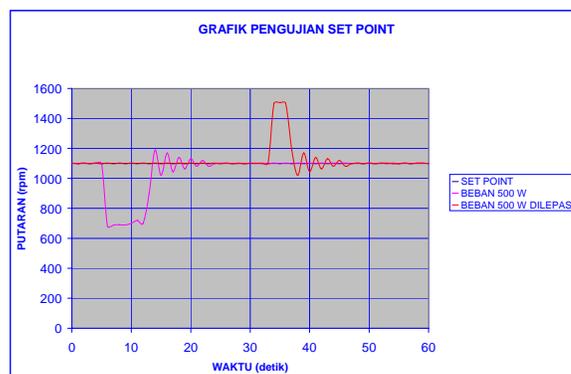
Sensor yang kurang presisi dalam mengambil data putaran mempengaruhi kinerja pengendali.

Pengujian waktu pencapaian *set point* berbeban

Tabel 6 : Data pengujian putaran-waktu

WAKTU (detik)	SET POINT	PUTARAN (rpm) diberi beban 500W	PUTARAN (rpm) dilepas beban 500W
60	1100	1098	1098
59	1100	1102	1102
58	1100	1102	1102
57	1100	1098	1098
56	1100	1102	1102
55	1100	1098	1098
54	1100	1102	1098
53	1100	1098	1102
52	1100	1102	1102
51	1100	1098	1098
50	1100	1102	1102
49	1100	1098	1098
48	1100	1102	1102
47	1100	1098	1098
46	1100	1102	1080

WAKTU (detik)	SET POINT	PUTARAN (rpm) diberi beban 500W	PUTARAN (rpm) dilepas beban 500W
45	1100	1098	1120
44	1100	1102	1080
43	1100	1098	1131
42	1100	1102	1064
41	1100	1098	1139
40	1100	1102	1043
39	1100	1098	1170
38	1100	1102	1020
37	1100	1098	1188
36	1100	1102	1500
35	1100	1098	1505
34	1100	1102	1500
33	1100	1098	1101
32	1100	1102	1099
30	1100	1102	1100
29	1100	1098	1098
28	1100	1102	1100
27	1100	1098	1098
26	1100	1102	1102
25	1100	1102	1098
24	1100	1098	1102
23	1100	1080	1098
22	1100	1120	1102
21	1100	1080	1098
20	1100	1131	1102
19	1100	1064	1098
18	1100	1139	1102
17	1100	1043	1098
16	1100	1170	1102
15	1100	1020	1098
14	1100	1188	1102
13	1100	900	1098
12	1100	700	1102
11	1100	720	1098
10	1100	700	1102
9	1100	697	1098
8	1100	680	1102
7	1100	689	1098
6	1100	680	1102
5	1100	1098	1098
4	1100	1102	1102
3	1100	1098	1098
2	1100	1102	1102
1	1100	1098	1098
0	1100	1102	1102



Gambar 4.7 Grafik pengujian *duty cycle* – putaran motor DC

Berdasarkan pada tabel (6) diperoleh data putaran motor DC penguatan terpisah. Beban 500 W diberikan pada saat motor berputar konstan sesuai *set point* 1100 rpm. Perubahan kecepatan motor DC dapat dilihat pada Grafik (4.7 lihat warna merah), pada saat tersebut kecepatan menurun hingga putaran 700 rpm, sehingga sistem harus mengatasi penurunan yang terjadi (error) agar putaran tetap pada daerah *set point* 1100 rpm. Diperlukan waktu pemulihan agar kecepatan kembali pada nilai *set point*. Hasil pengujian diperoleh waktu pemulihan selama 20 detik. Sedangkan pada saat beban 500 W dilepas maka akan terjadi percepatan putaran, sehingga sistem harus menurunkan percepatan tersebut ke kondisi *set point*. Hasil pengujian diperoleh waktu yang diperlukan sistem selama ± 15 detik.

Kedua kondisi tersebut dapat dikatakan bahwa sistem bekerja sesuai harapan atau dengan kata lain sistem bekerja dengan baik sesuai program yang tersimpan dalam pengendali.

KESIMPULAN

1. Sistem kendali PWM (*Pulse Width Modulation*) telah direalisasikan untuk mengendalikan kecepatan motor DC penguatan terpisah sesuai *set point* sebesar 1100 rpm, nilai *set point* diperoleh dengan melihat putaran maksimum dari motor DC.
2. Adanya penetapan nilai *set point* sebesar 1100 rpm pada sistem kendali PWM, mengakibatkan kecepatan motor DC penguatan terpisah dengan perubahan beban akan berada pada nilai disekitar *set point* yang besarnya antara 1098 – 1102 rpm, hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan 4.6.
3. Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan terdapat perbedaan tegangan yang dihasilkan pada semikonverter 1 fasa, yaitu pada sudut penyalaan 45° hasil pengujian diperoleh tegangan sebesar $189 V_{DC}$, dan hasil perhitungan diperoleh tegangan sebesar $169 V_{DC}$. Sedangkan

pada sudut penyalaaan 90° diperoleh tegangan sebesar 149 V_{DC}, sedangkan pada sudut penyalaaan 90° hasil perhitungan diperoleh tegangan sebesar 99 V_{DC}. Hal tersebut dipengaruhi karena adanya GGL (Gaya Gerak Listrik) yang terjadi pada motor DC penguatan terpisah dan dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan 4.7 serta pada Tabel 4.2.

4. Dari hasil pengujian dan perhitungan terbukti bahwa semakin besar sudut penyalaaan maka semakin kecil tegangan keluaran semikonverter 1 fasa yang dihasilkan, sehingga peran semikonverter 1 fasa sebagai penyearah terkendali berhasil dibuktikan dan dapat dilihat pada Tabel 4.3.
5. Nilai sinyal PWM yang dibangkitkan oleh mikrokontroler ATMEGA 8535 akan dikuatkan oleh rangkaian penguat sehingga besar tegangan yang dihasilkan tergantung dari besar *duty cycle* yang dibangkitkan. Besar tegangan yang dihasilkan rangkaian penguat dimasukkan ke (pin 11) IC TCA 785, sehingga dapat dibangkitkan pulsa penyalaaan untuk rangkaian semikonverter AC-DC 1 fasa.

DAFTAR PUSTAKA

- Deshpande M.V, *Electric Motors : Application and Control*, Wheeler.
- Leonhard Werner, *Control of Electrical Drives*, 2nd Completely Revised and Enlarged Edition, Springer.
- Mohan, *power electronics*, Jhon Wiley & Sons, Inc.
- Rashid. M.H, *Power electronics circuit, Devices, and Aplication*, Prentice Hall.
- Sahat. Pakhpahan, Ir., *Kontrol Otomatik*, Penerbit Erlangga.1988.
- SIEMENS, Semikonduktor Group.
- Tri Heri Admojo, *Pengaturan Kecepatan Motor DC Penguatan Terpisah Menggunakan Kontrol PID-Fuzzy (Perangkat Keras)*, Tugas Akhir ITS, Surabaya, 2006.
- Wardhana, Lingga, *Belajar Sendiri Mikrokontroller AVR Seri ATMEga8535, Simulasi, Hardware, dan Aplikasi*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2006.
- Zuhal, 1991, *Dasar Tenaga Listrik*, Bandung.
- _____, "Introduction to Pulse Width Modulation - PWM, control systems, digital control"
<http://www.netrino.com/Publications/Glossary/PWM.php>

_____, "4QD-TEC PWM speed controlPART1"

<http://www.4qdtype.com/pwm-01.html>

_____, "Pulse-width modulation - Wikipedia, the free encyclopedia"

http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation