

PENGARUH SUDUT PEMICUAN (*TRIGGER*) PENYEARAH TERKONTROL TERHADAP PUTARAN MOTOR DC

A.N. Afandi

Abstrak: Pengaturan putaran motor sangat penting untuk dilakukan untuk memikul beban mekanik yang sesuai. Selain itu juga untuk menyesuaikan dengan kondisi pada saat *start*. Banyak cara dilakukan untuk mengatur kecepatan putaran, salah satunya adalah dengan mengatur tegangan sumber yang dapat dikendalikan dengan penyearah terkontrol. Sebagaimana tujuan dalam pembahasan ini, yaitu untuk meneliti hubungan unjuk kerja penyearah terkontrol dan motor DC, yaitu yang diwakili parameter sudut pemicuan dan putaran. Selanjutnya, dengan mengacu pada hasil analisis didapatkan, bahwa sudut pemicuan sangat berpengaruh terhadap putaran motor DC. Semakin besar sudut pemicuan akan menyebabkan putaran semakin kecil. Selain itu tingkat pengaruh sudut pemicuan terhadap putaran motor DC memiliki signifikansi sebesar 99% dengan nilai F sebesar 386,603, hal tersebut menunjukkan sangat kuatnya pengaruh sudut pemicuan.

Kata kunci: Putaran, sudut pemicuan, *thyristor*, beban.

Salah satu hal yang sangat penting pada pengoperasian suatu motor adalah pengaturan putaran, tetapi hal ini harus memperhatikan kondisi beban yang akan ditanggung. Selain itu juga kondisi pada saat *start* atau pengasutan, hal ini sangat rawan sekali terhadap kerusakan, mengingat kondisi motor pertama adalah diam, sehingga kemungkinan untuk menghasilkan arus sangat besar dan dapat menyebabkan kerusakan pada motor. Oleh karena itu, pada kondisi tersebut harus memperhatikan kemungkinan terjadinya arus lebih, sehingga motor dapat bekerja dengan normal tanpa kerusakan.

Banyak cara dilakukan untuk mengatur kecepatan putaran, salah satunya adalah dengan mengatur tegangan sumber. Langkah ini dapat dilakukan dengan berbagai cara, tetapi penggunaan penyearah terkontrol merupakan hal yang menguntungkan, karena rugi tegangannya relatif kecil. Penyearah terkontrol merupakan rangkaian yang disusun oleh SCR untuk mengendalikan tegangan, dalam hal ini dapat mempengaruhi kinerja motor yang digunakan sebagai penggerak utama dalam industri dan transportasi. Secara umum, penyearah terkontrol bekerja dengan cara pengaktifan pulsa pada sumber yang akan dikendalikan, sehingga diperoleh tegangan yang nilainya dapat diatur sesuai dengan kebutuhan.

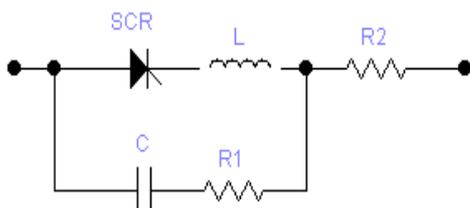
Tujuan penelitian ini adalah untuk meneliti hubungan unjuk kerja penyearah terkontrol dan motor DC, yaitu yang diwakili parameter sudut pemicuan dan putaran. Kondisi motor pada pembahasan ini adalah motor DC penguat terpisah dengan daya 0,3 kW, tegangan 220 volt dan putaran 2000 rpm. Tidak membahas harmonik dan gangguan, serta tegangan sumber stabil.

Thyristor

Thyristor merupakan salah satu saklar elektronika yang baik dan mengalami perkembangan pesat dalam aplikasinya, hal ini terjadi karena *thyristor* memiliki sifat penting, yaitu: ketahanan terhadap tegangan dan arus lebih yang baik, kecepatan *switching* yang baik, dapat dinyalakan dengan pulsa *trigger* positif dan dapat pula dipadamkan dengan pulsa *trigger* negatif.

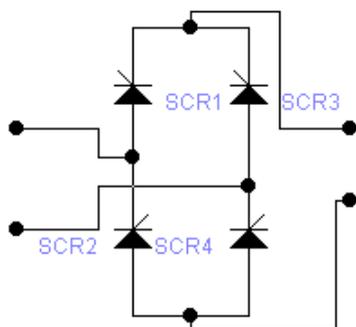
Biasanya pada penggunaan untuk daya tinggi dan frekuensi *switching* yang tinggi serta tegangan tinggi, *thyristor* dilengkapi dengan rangkaian pelindung (*snubber*) RCL untuk mengurangi rugi-ruginya pada saat perpindahan keadaan nyala ke padam dan sebaliknya (*switching*). Seperti pada Gambar 1, tujuan penggunaan *snubber* tersebut untuk melindungi dari lonjakan tegangan ataupun lonjakan arus yang terjadi, sehingga tidak menimbulkan kerusakan.

Sebuah *thyristor* akan menyala jika diberikan pulsa positif pada *gate*-nya dan akan padam bila pada *gate*-nya diberikan pulsa negatif. Akibat nyala dan padamnya *thyristo* secara bergatian, maka akan muncul tegangan keluaran yang terpotong-potong secara periodik pada keluaran *thyristor* yang besarnya dapat dikontrol dengan mengatur waktu nyalanya.



Gambar 1 Thyristor dan Snubber

Pada dasarnya *thyristor* merupakan komponen semikonduktu yang disusun oleh sambungan PNPN dengan tiga sambungan PN. Pada kondisi tegangan anoda lebih positif dibandingkan katoda, maka kondisi ini merupakan kondisi *forward bias*, namun masih belum mampu menghantarkan arus. Untuk menghantarkan arus listrik, maka harus dikondisikan mejadi konduksi antara anoda dan katoda dengan jalan memberi tegangan *trigger*. Tegangan *trigger* ini harus melebihi tegangan *holding gate* (G) yang diharuskan, sehingga mampu membuat *tryristor* konduksi.



Gambar 2 Penyearah terkontrol

Snubber

Snubber merupakan rangkaian untuk melindungi *thyristor* atau SCR dari lonjakan arus atau kenaikan tegangan secara

mendadak. Proteksi ini bertujuan agar tidak terjadi kerusakan pada *thyristor* apabila terjadi perubahan beban. Biasanya *snubber* disusun oleh komponen R, L dan C, seperti pada Gambar 1. Pada gambar tersebut memberi penjelasan bahwa SCR harus disusun secara seri dan paralel terhadap *snubber*, sehingga tegangan atau arus yang akan menyebabkan kerusakan dapat dicegah atau dicecilkan.

Penyearah Terkontrol

Salah satu jenis penyearah yang banyak digunakan untuk mengetahui unjuk kerja motor khususnya putaran motor adalah penyearah terkontrol. Penyearah terkontrol merupakan konverter AC ke DC, dan rangkaian ini umumnya dipergunakan secara luas pada industri-industri untuk *suplay* motor arus searah, seperti penggerak *conveyor*, mesin penekan, mesin pengiling dan sebagainya. Sedangkan pada bangunan bertingkat dan pusat-pusat perbelanjaan, rangkaian konverter ini banyak dioperasikan untuk menggerakkan motor DC yang digunakan pada *lift*, eskalator dan sebagainya.

Berdasarkan catu daya masukan yang ada, maka konverter AC ke DC ini dapat diklasifikasikan menjadi dua tipe yaitu : konverter satu phasa dan konverter tiga phasa. Selanjutnya sesuai dengan jumlah *thyristor* dan cara merangkainya, maka tipe konverter ini dapat dibagi menjadi: setengah konverter (*half rectifier*) dan konverter penuh (*full rectifier*).

Secara umum penyearah merupakan rangkaian yang disusun oleh satu atau beberapa dioda, yaitu penyearah ini merupakan proses perubahan yang menghasilkan tegangan keluaran DC dengan mengandung harmonisa yang masih harus dihilangkan, dan pada saat yang sama arus dan tegangan dapat ditentukan sebagai keluaran atau masukan pada suatu beban, hanya saja pada penyearah terkontrol komponen yang digunakan adalah SCR atau *thyristor*. Dengan digunakannya SCR, maka keluaran dari pe

nyearah dapat dikendalikan sesuai dengan sudut pemecuan (*trigger*). Sedangkan hasil unjuk kerjanya dapat diukur menggunakan beberapa parameter sebagai berikut:

Daya:

$$P_{dc} = V_{dc} \cdot I_{dc} \quad (1)$$

$$P_{ac} = V_{ac} \cdot I_{ac} \quad (2)$$

Efisiensi:

$$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} \quad (3)$$

Tegangan:

$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T V(t).dt \quad (4)$$

$$V_{ac} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2(t).dt} \quad (5)$$

Faktor *ripple*:

$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} \quad (6)$$

Secara umum penyearah dapat dilakukan dengan gelombang penuh atau setengah gelombang. Apabila menggunakan penyearah gelombang penuh, maka pulsa positif dan negatif akan disearahkan semua. Namun apabila hanya menggunakan penyearah setengah gelombang, maka pulsa yang akan dikendalikan hanya positif/negatif saja, sedang sisanya tidak disearahkan. Dengan demikian proses penyearahkan tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan satu atau empat/dua SCR untuk membentuk jenis setengah gelombang atau gelombang penuh sesuai yang diinginkan. Seperti pada Gambar 2, jenis ini akan menghasilkan pulsa keluaran yang penuh, yaitu kedua pulsa gelombang akan disearahkan sekaligus dikontrol. Sehingga tegangan dan arus keluaran yang dihasilkan akan lebih besar dan dapat dikendalikan untuk kedua pulsa (positif dan negatif).

Motor Arus Searah

Motor arus searah (*direct current motor*) atau motor D C adalah suatu mesin yang berfungsi untuk mengubah daya listrik searah menjadi daya mekanik atau da-

ya gerak yang berupa putaran pada rotornya.

Cara kerja motor arus searah adalah berdasarkan prinsip bahwa apabila suatu penghantar dialiri arus listrik diletakkan dalam suatu medan magnet, maka pada penghantar akan timbul gaya mekanik yang menggerakkan penghantar tersebut. Arah gerak penghantar dapat ditentukan dengan aturan tangan kiri (*left handrule*) yang menyebutkan apabila tangan kiri yang terbuka diletakkan antara kutub utara dan kutub selatan, maka garis gaya magnet yang keluar dari kutub utara menembus telapak tangan kiri dan arus didalam penghantar mengalir searah dengan arah keempat jari kiri. Selanjutnya penghantar tersebut akan medapat gaya yang arahnya sesuai dengan arah ibu jari. Besarnya gaya yang dihasilkan adalah:

$$F = B \cdot I \cdot L \quad (7)$$

Pada persamaan (7) tersebut: B=kerapatan fluksi magnet (*weber/m²*), I = arus listrik yang mengalir (*ampere*), L= panjang penghantar (*meter*).

Bila penghantar disusun sedemikian hingga membentuk lilitan jangkar motor arus searah, maka dengan adanya gaya tersebut akan timbul torsi pada rotor:

$$T = P \cdot a \cdot Z \quad (8)$$

Pada persamaan (8), P = jumlah kutub, a = jumlah cabang paralel, Z = jumlah kawat penghantar, I_a = arus jangkar (*ampere*), *f* = fluks magnet yang melewati jangkar (*weber*). Karena jangkar berputar didalam medan magnet, maka tegangan induksi (*ggl lawan*) akan timbul pada motor arus searah yang besarnya:

$$E_a = \frac{P}{a} Z n f = C \cdot n \cdot f \quad (9)$$

Pada persamaan (9) tersebut: n = putaran motor (*rpm*)

Karakteristik Motor Arus Searah

Karakteristik yang merupakan unjuk kerja motor biasanya digunakan sebagai dasar untuk pemilihan suatu motor arus searah sesuai penggunaannya. Selanjutnya

dengan mengacu pada persamaan $n = (V - I_a R_a) / C\phi$ (rpm) dan persamaan $T = K I_a$, maka karakteristik motor arus searah dapat dibagi menjadi beberapa hubungan yaitu:

- a) Karakteristik torsi, torsi dan arus jangkar, $T = f(I_a)$.
- b) Kecepatan dan arus jangkar, yaitu karakteristik $n = f(I_a)$ atau biasa disebut karakteristik putaran.
- c) Kecepatan dan torsi, yaitu karakteristik $n = f(T)$ dan ini biasa disebut karakteristik mekanis.

Pengaturan Kecepatan Motor DC

Dengan mengacu pada persamaan $n = (V - I_a R_a) / C\phi$, maka pengaturan kecepatan motor arus searah dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu:

- a) Dengan mengatur besar fluks (f)
- b) Dengan mengatur resistansi jangkar (R_a) dan
- c) Dengan mengatur tegangan catu pada jangkar (V_a)

Untuk mengetahui seberapa besar rentang putaran yang diijinkan, maka *Range* pengaturan (D) didefinisikan sebagai nilai perbandingan antara kecepatan maksimum dengan kecepatan minimum pada suatu proses pengaturan, yang besarnya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$D = \frac{n_{max}}{n_{min}} \tag{10}$$

Dengan D *range* pengaturan, n_{max} kecepatan putaran maksimum (rpm) dan n_{min} kecepatan putaran minimum (rpm).

METODE

Secara umum metode pada penelitian ini dilakukan dengan tahapan-tahapan pengujian terhadap kondisi yang diinginkan. Pengujian sekaligus pengambilan data untuk kondisi spesmen motor yang sangat krusial, yaitu tahanan jangkar untuk kapasitor motor yang digunakan. Selanjutnya dilakukan pengendalian melalui *trigger* dengan objek putaran motor yang terkendali, untuk berbagai nilai yang diinginkan.

HASIL

Pengaruh trigger pada pengendalian putaran motor sangat dominan dengan kondisi pengujian yang ditetapkan. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 1, 2, dan 3. Kondisi spesmen ditunjukkan dengan parameter tahanan jangkar pada Tabel 1, begitu juga pengaruh pada trigger tampak pada Tabel 2. Selain itu *performance* hasil pengendalian untuk kondisi pengujian pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4, yaitu berkaitan dengan tegangan dan efisiensi.

Tabel 1 Tahanan Jangkar.

Ukur Ke	Hasil (Ohm)	Ukur Ke	Hasil (Ohm)
1	0,8	7	0,7
2	0,8	8	0,8
3	0,9	9	0,7
4	0,7	10	0,8
5	0,7	11	0,8
6	0,8	12	0,8

Tabel 2 Penentuan sudut pemecuan

No	α (°)	V_a (volt)	I_a (amper)	Pcu (watt)
1.	73,88	60	0,47	0,177
2.	68,27	80	0,48	0,184
3.	62,43	100	0,50	0,200
4.	56,26	120	0,52	0,216
5.	49,62	140	0,53	0,225
6.	42,23	160	0,55	0,242
7.	33,59	180	0,56	0,251
8.	22,24	200	0,57	0,260

Tabel 3 Penentuan tegangan induksi

N o	α (°)	V_a (V)	I_a (A)	E_a (V)	N (rpm)
1.	73,88	60,0	2,13	57,44	540
2.	68,27	80,0	2,15	77,43	700
3.	62,43	100,0	2,16	97,41	880
4.	49,62	140,0	2,17	137,40	1195
5.	33,59	180,0	2,18	177,38	1550
6.	22,24	200,0	2,19	197,38	1710

Tabel 4 Penentuan efisiensi

No	P_a (W)	P_m (W)	T_m (nm)	h (%)
1.	122,36	127,80	2,16	95,74
2.	165,70	171,20	2,26	96,79
3.	210,40	216,00	2,34	97,41
4.	298,15	303,80	2,38	98,14
5.	386,70	392,40	2,38	98,55
6.	430,30	436,00	2,39	98,69

PEMBAHASAN

Kapasitas Pengujian

Pengujian ini akan dilakukan untuk menentukan unjuk kerja motor DC ataupun penyearah terkontrol. Unjuk kerja motor DC akan diteliti berdasarkan kapasitas daya keluaran 0,3 kW, tegangan jangkar 220 volt, arus Jangkar 2,2 amper, putaran 2000 rpm, tegangan penguat 220 volt dan arus penguat 0,45 amper. Sedangkan penyearah terkontrol didasarkan pada kapasitas tegangan *input* 0 s/d 220 volt, daya 1 kW, tegangan *input* medan 50 volt dan arus 5 amper.

Tahanan Jangkar

Pengujian tahanan jangkar ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai tahanan jangkar, berdasarkan pengukuran seperti yang tercantum dalam Tabel 1, maka secara rata-rata nilai tahanan jangkar tersebut adalah 0,8 ohm.

Penentuan Sudut Pemicuan (*trigger*)

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan penyearah terkontrol, bahwa tegangan keluaran 60 volt dan putaran 530 rpm, arus keluarannya 0,47 amper. Maka rugi-rugi tembaga jangkar motor dapat dihitung sebagai berikut:

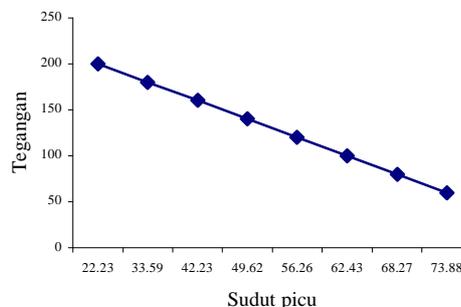
$$\begin{aligned} P_{cu} &= (I_a)^2 \times R_a \\ &= (0,47)^2 \times 0,8 \\ &= 0,17672 \text{ Watt.} \end{aligned}$$

Sudut penyalan yang diberikan untuk tegangan keluaran 60 volt adalah :

$$\begin{aligned} \alpha &= \cos^{-1} \left[\frac{p \times V_a}{2 \times V_m} \right] \\ &= \cos^{-1} \left\{ \frac{3,14 \times 60}{2 \times 339,47} \right\} \\ &= \cos^{-1} [0,2776] \\ &= 73,88^\circ \end{aligned}$$

Dengan demikian untuk hasil seluruh analisa pada kondisi tanpa beban seperti pada Tabel 2. Dengan memperhatikan Tabel 2 dan Gambar 3, terlihat bahwa semakin besar sudut pemicuan akan semakin kecil tegangan keluaran yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan sudut pemicu yang semakin

besar akan menyebabkan semakin kecil pulsa tegangan yang dapat dilewatkan, sehingga menghasilkan tegangan keluaran yang kecil. Dengan demikian kondisi on dalam satu periodenya semakin kecil apabila sudut pemicuan semakin besar.



Gambar 3 Grafik Hubungan sudut pemicuan dan tegangan keluaran

Kondisi Beban Penuh

Berdasarkan pada tegangan keluaran 60 volt dan arus keluarannya 2,13 amper, maka dapat ditentukan:

Tegangan induksi yang dibangkitkan :

$$\begin{aligned} E_a &= V_a - I_a \times R_a = 60 - 2,13 \times 1,2 \\ &= 57,444 \text{ volt} \end{aligned}$$

Daya keluaran motor yang dihasilkan:

$$\begin{aligned} P_a &= E_a \times I_a = 57,444 \times 0,96 \\ &= 121,356 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Torsi motor yang dihasilkan pada putaran 540 rpm:

$$\omega_m = \frac{p \times N}{30} = \frac{3,14 \times 540}{30} = 52,36 \text{ rad/sec}$$

$$\begin{aligned} T_m &= \frac{P_a}{\omega_m} = \frac{122,356}{56,52} \\ &= 2,1637 \text{ N-M} \end{aligned}$$

Daya masukan motor :

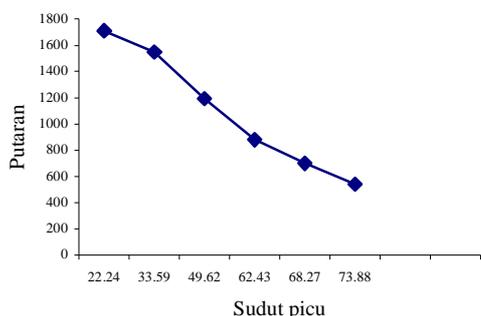
$$\begin{aligned} P_m &= V_a \times I_a = 60 \times 2,13 \\ &= 127,80 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Efisiensi motornya adalah :

$$\begin{aligned} h &= \frac{P_a}{P_m} \times 100\% \\ &= \frac{122,36}{127,80} \times 100\% = 95,74\% \end{aligned}$$

Dengan demikian untuk hasil seluruh analisa pada kondisi beban penuh seperti pada Tabel 3 dan Tabel 4. Dengan memperhati-

kan Tabel 3 dan Gambar 4, terlihat bahwa semakin besar sudut pemucuan putaran akan semakin kecil. Hal ini dapat dipahami karena sudut pemucuan yang semakin besar akan menyebabkan semakin kecilnya tegangan keluaran, sehingga putaran motor DC juga akan semakin kecil. Kejadian tersebut merupakan kondisi putaran yang tergantung pada tegangan, yaitu sudut pemucuan akan mempengaruhi tegangan keluaran penyearah terkontrol, dengan demikian akan berpengaruh pada putaran.



Gambar 4 Grafik Hubungan sudut pemucuan dan putaran

Tabel 5 Hasil model summary SPSS

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change in Statistics	R	F
1	.995	.990	.987	53.2005	.990	386.603	

a Predictors: (Constant), SUDUT

b Dependent Variable: PUTARAN

Perubahan yang terjadi pada setiap putaran motor sangat bergantung pada sudut pemucuan, hal ini memiliki ketekaitan yang kuat dengan melihat Tabel 5. Tabel tersebut memberi gambaran peranan pengaruh sudut pemucuan terhadap putaran motor, yaitu memiliki signifikansi sekitar 0.990 atau 99 % dan nilai Uji F sebesar 386,603. Dengan demikian sangat kuat sekali pengaruh sudut pemucuan pada penyearah terkontrol terhadap putaran motor DC.

KESIMPULAN

Pada kinerja penyearah terkontrol memiliki pengaruh yang sangat kuat terha-

dap putaran motor DC, yaitu sudut pemucuan pada penyearah terkontrol berpengaruh sekali pada putaran motor DC, dimana tingkat pengaruh tersebut memiliki signifikansi 99% dengan nilai F 386,603. Selain itu, semakin besar sudut pemucuan akan menyebabkan semakin turunnya putaran motor DC.

Untuk penelitian sejenis yang berkapasitas besar, sebaiknya menggunakan SCR yang sesuai kapasitasnya, serta menggunakan proteksi beban. Dan penelitian ini dapat dikembangkan untuk penelitian dengan beban bervariasi.

DAFTAR RUJUKAN

- Dubey, G.K., 1993. *Power Semiconductor controlled Drives*. Mc. Graw – Hill International
- Fitzgerald, A.E., Charles kingsley Jr., Stephen D. Umans, 1996. *Mesin-mesin Listrik, Edisi keempat*, terjemahan Djoko Achyanta Msc. EE. Erlangga, 1989
- Malvino, 1989., *Prinsip-prinsip Elektronika*, edisi kedua terjemahan M. Barmawi, Erlangga. Jakarta
- Rashid, M.H. 1993., *Power Electronics*, Prentice – Hall International
- Schlotheim, G.v. 1992., *Power Electronics*, Ley Bold Didactic Gambh.
- Sumanto, 1984., *Mesin Arus Searah*, Yogyakarta : Penerbit Andi Offset.
- Zuhal, 1988., *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Electronika Daya*, Jakarta : Penerbit PT. Gramedia.