

PENGARUH PENGATURAN TAHANAN SHUNT DAN SERI TERHADAP PUTARAN DAN EFISIENSI MOTOR ARUS SEARAH KOMPON

(Aplikasi pada Laboratorium Departemen Listrik P4TK, Medan)

Andri Sitorus, Syamsul Amien

Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA
e-mail: sithorhus@gmx.com

Abstrak

Motor arus searah adalah suatu mesin yang berfungsi mengubah tenaga listrik arus searah menjadi tenaga gerak atau tenaga mekanik berupa putaran rotor. Putaran dan efisiensi merupakan besaran yang menentukan kinerja dari suatu motor arus searah. *Paper* ini akan membahas pengaruh pengaturan tahanan shunt dan seri terhadap putaran dan efisiensi motor arus searah kompon. Dengan pengaturan tahanan shunt, putaran motor arus searah kompon panjang rata-rata lebih cepat 7,78% dibanding motor arus searah kompon pendek dengan tegangan terminal 50 V. Sedangkan dengan pengaturan tahanan seri, putaran motor arus searah kompon panjang rata-rata hanya lebih cepat 0,847% dibanding motor arus searah kompon pendek dengan tegangan terminal 150 V. Efisiensi motor arus searah kompon panjang lebih baik dibanding motor arus searah kompon pendek dengan pengaturan tahanan seri, sebaliknya efisiensi motor arus searah kompon pendek lebih baik dibandingkan motor arus searah kompon panjang dengan pengaturan tahanan shunt.

Kata kunci: motor arus searah kompon, tahanan shunt dan seri, putaran, efisiensi

1. Pendahuluan

Suatu mesin listrik berfungsi sebagai motor listrik apabila terjadi proses konversi energi listrik menjadi energi mekanik di dalamnya. Motor arus searah adalah motor yang memerlukan suplai tegangan searah pada kumparan jangkar dan kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik.

Motor arus searah kompon adalah motor arus searah yang penguatan medannya diberikan oleh kumparan medan paralel sekaligus kumparan medan seri, yang mana dapat saling memperbesar (kumulatif) dan saling mengurangi (diferensial).

Pada saat motor arus searah menerima daya masukan berupa energi listrik dan menghasilkan daya keluaran berupa energi mekanik, tidak seluruh daya masukan ke motor diubah menjadi daya keluaran yang berguna, selalu ada energi yang hilang selama proses pengkonversian energi tersebut. Perbandingan antara daya keluaran dan daya masukan ini disebut efisiensi.

Pada motor arus searah jika beban bertambah, kecepatan motor cenderung menjadi lambat. Pengaturan putaran motor arus searah dapat dilakukan dengan menyisipkan tahanan variabel yang dihubungkan secara seri dengan medan shunt.

2. Motor Arus Searah Kompon

Motor arus searah jarang digunakan dalam aplikasi biasa karena semua pasokan listrik dari perusahaan listrik memasok arus bolak-balik. Namun, untuk aplikasi khusus pada pabrik baja, pertambangan dan kereta listrik, ada hal yang menguntungkan untuk mengkonversi arus bolak-balik menjadi arus searah dalam rangka untuk menggunakan motor arus searah [1].

Adapun konstruksi dari motor arus searah terdiri dari beberapa bagian, yaitu [2]:

- a) Badan motor
- b) Kutub
- c) Inti jangkar
- d) Kumparan jangkar dan kumparan medan
- e) Komutator dan sikat

Prinsip Kerja Motor Arus Searah

Ada dua kondisi yang diperlukan untuk menghasilkan gaya pada suatu konduktor [3].

- i. Konduktor harus membawa arus.
- ii. Konduktor harus berada dalam suatu medan magnet.

Jika arus jangkar (I) tegak lurus dengan arah induksi magnetik (B) maka besar gaya yang dihasilkan oleh arus yang mengalir pada konduktor jangkar yang ditempatkan dalam suatu medan magnet adalah [2] :

$$F = B.I.l \quad (1)$$

Dimana :

- F : gaya Lorentz (newton)
- I : arus yang mengalir pada konduktor jangkar (ampere)
- B : kerapatan fluksi (Wb/m^2)
- l : panjang konduktor jangkar (m)

Sedangkan torsi yang dihasilkan motor dapat ditentukan dengan:

$$T = F.r \quad (2)$$

Bila torsi yang dihasilkan motor lebih besar dari pada torsi beban maka motor akan berputar. Besarnya torsi beban dapat dituliskan dengan:

$$T = K \Phi_m I_a \quad (3)$$

$$K = \frac{P.Z}{2\pi a} \quad (4)$$

Dimana :

- T : torsi (Nm)
- r : jari-jari rotor (m)
- K : konstanta tergantung fisik motor
- Φ : fluksi setiap kutub (weber)
- I_a : arus jangkar (A)
- P : jumlah kutub
- z : jumlah konduktor
- a : cabang paralel

Motor arus searah kompon mempunyai kumparan seri dan juga kumparan paralel. Jika eksitasi seri membantu eksitasi paralel yaitu fluks seri searah dengan fluks paralel, motor jenis ini disebut kompon kumulatif. Sebaliknya, jika fluks seri berlawanan dengan fluks paralel, motor seperti ini disebut kompon diferensial [4].

Pada motor arus searah efisiensinya dinyatakan sebagai:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (5)$$

$$P_{out} = \frac{2.\pi.T.n}{60} \quad (6)$$

$$P_{in} = V_t(I_a + I_{fp}) \quad (7)$$

Sehingga efisiensi dapat dinyatakan dengan :

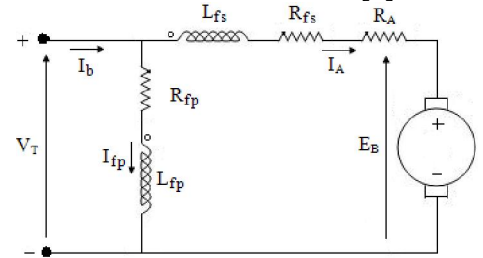
$$\eta = \frac{2\pi T n}{60 V_t (I_{fp} + I_a)} \quad (8)$$

Persamaan (8) berlaku untuk motor kompon panjang dan motor kompon pendek.

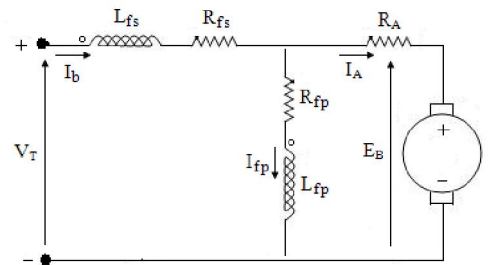
Dimana :

- P_{in} : daya masukan (watt)
- P_{out} : daya keluaran (watt)

Gambar rangkaian motor arus searah kumulatif kompon panjang dan kompon pendek ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2 berikut ini [5].



Gambar 1. Motor arus searah kumulatif kompon panjang



Gambar 2. Motor arus searah kumulatif kompon pendek

Dari persamaan tegangan motor arus searah:

$$E_b = \frac{\Phi Z n}{60} \left(\frac{P}{A}\right) \quad (9)$$

$$n = \frac{E_b (60A)}{\Phi (ZP)} \quad (10)$$

$$n = \frac{E_b}{C\Phi} \quad (11)$$

Dimana :

- E_b : gaya gerak listrik motor (V)
- Φ : fluksi (Wb)
- Z : jumlah konduktor jangkar
- n : kecepatan putar jangkar (ppm)
- P : jumlah kutub
- A : jumlah alur arus paralel
- C : konstanta

Untuk motor arus searah kumulatif kompon panjang, dengan memperhatikan Gambar 1 didapat :

$$V_T = E_B + I_a(R_{fs} + R_A) \quad (12)$$

$$n = \frac{V_T - I_a(R_{fs} + R_A)}{C\Phi} \quad (13)$$

$$n = \frac{V_T - I_a(R_{fs} + R_A)}{k(I_b + I_{fp})} \quad (14)$$

Untuk motor arus searah kumulatif kompon pendek, dengan memperhatikan Gambar 2 didapat :

$$V_T = E_B + I_b R_{fs} + I_a R_A \quad (15)$$

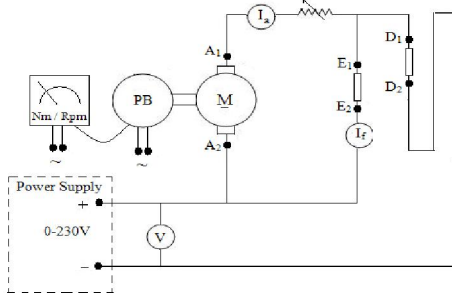
$$n = \frac{V_T - (I_b R_{fs} + I_a R_A)}{C\Phi} \quad (16)$$

$$n = \frac{V_T - (I_b R_{fs} + I_a R_A)}{k(I_b + I_{fp})} \quad (17)$$

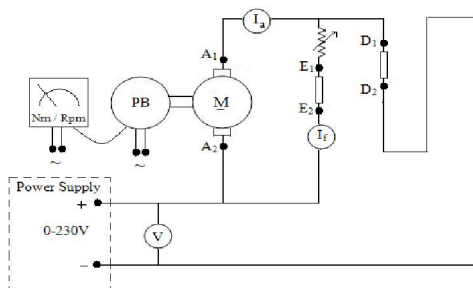
3. Metode Penelitian

Pengukuran dilakukan di Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Medan (P4TK Medan), Sumatera Utara, pada hari Kamis, tanggal 26 September 2013, pukul 10.00 – 15.00 WIB untuk mengukur putaran dan besaran-besaran yang berhubungan dengan efisiensi motor arus searah kompon setelah kumparan penguat shunt dan seri diatur tahanannya dengan nilai yang berbeda-beda.

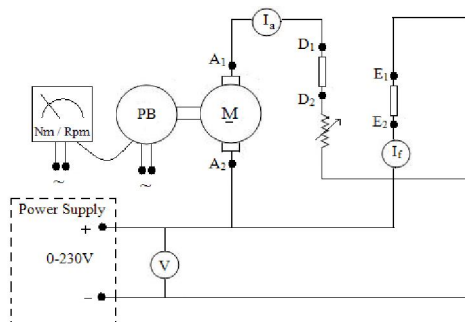
Adapun rangkaian untuk mengukur putaran dan besaran-besaran yang mempengaruhi nilai efisiensi pada penelitian ini dibagi dalam empat bagian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6 berikut ini.



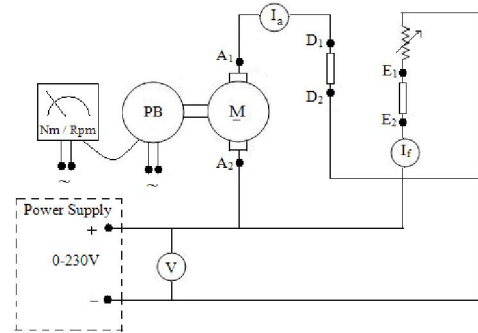
Gambar 3. Rangkaian percobaan pengaturan tahanan seri pada motor arus searah kompon pendek



Gambar 4. Rangkaian percobaan pengaturan tahanan shunt pada motor arus searah kompon pendek



Gambar 5. Rangkaian percobaan pengaturan tahanan seri pada motor arus searah kompon panjang



Gambar 6. Rangkaian percobaan pengaturan tahanan shunt pada motor arus searah kompon panjang

Pengukuran putaran dan arus dilakukan pada empat jenis motor arus searah kompon dengan pengaturan tahanan shunt dan tahanan seri. Adapun rincian besar tahanan adalah sebagai berikut:

- 25% tahanan maksimum (36Ω)
- 50% tahanan maksimum (72Ω)
- 75% tahanan maksimum (108Ω)
- 100% tahanan maksimum (144Ω)

Sedangkan prosedur percobaan pengaturan tahanan seri untuk motor arus searah kompon pendek adalah sebagai berikut:

- Buatlah rangkaian seperti pada Gambar 6, 7, 8 dan 9.
- Nyalakan PTDC.
- Atur tegangan terminal pada motor arus searah sampai 150 V dan berikan pengereman pada *powder brake* sebesar 0,25 Nm.
- Atur tahanan seri pada variabel resistor sebesar 25%, 50%, 75%, dan 100% , catat besarnya perubahan pada putaran, arus jangkar, dan arus medan pada motor arus searah kompon pendek setiap perubahan tahanan seri.
- Lakukan pengukuran perubahan putaran, arus jangkar, dan arus medan untuk besar torsi yang lain, yaitu 0,5 Nm dan 0,75 Nm.
- Matikan peralatan.

4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Penelitian ini membahas mengenai hasil pengukuran dan hasil perhitungan serta akan dianalisa besar putaran dan efisiensi untuk perubahan besar tahanan seri dan shunt pada motor arus searah kompon. Rumus yang digunakan untuk menghitung efisiensi adalah persamaan (5), (6) dan (7).

Data hasil pengukuran dan perhitungan besarnya putaran ditunjukkan pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4 berikut ini.

Tabel 1. Data hasil pengukuran putaran setelah pengaturan tahanan seri pada motor kompon panjang

V_t (V)	R_s (Ω)	T (Nm)	n (rpm)
150	25%	0,25	590
150	50%	0,25	841
150	75%	0,25	1137
150	100%	0,25	1453
150	25%	0,5	312
150	50%	0,5	629
150	75%	0,5	1014
150	100%	0,5	1402
150	25%	0,75	63
150	50%	0,75	413
150	75%	0,75	802
150	100%	0,75	1350

Tabel 2. Data hasil pengukuran putaran setelah pengaturan tahanan seri pada motor kompon pendek

V_t (V)	R_s (Ω)	T (Nm)	n (rpm)
150	25%	0,25	578
150	50%	0,25	842
150	75%	0,25	1130
150	100%	0,25	1481
150	25%	0,5	295
150	50%	0,5	605
150	75%	0,5	978
150	100%	0,5	1427
150	25%	0,75	30
150	50%	0,75	362
150	75%	0,75	833
150	100%	0,75	1383

Untuk motor kompon panjang setelah pengaturan tahanan seri untuk beban 0,25 Nm didapat besarnya putaran :

$$n = \frac{590+841+1137+1453}{4} = 1005,25 \text{ rpm}$$

Untuk motor kompon pendek setelah pengaturan tahanan seri untuk beban 0,25 Nm didapat besarnya putaran :

$$n = \frac{578+842+1130+1481}{4} = 1007,75 \text{ rpm}$$

Sehingga didapat perbedaan perubahan kecepatan putaran motor kompon panjang dan motor kompon pendek untuk pengaturan tahanan seri dengan beban 0,25 Nm adalah sebagai berikut:

$$\Delta n = \frac{1007,25-1005,25}{1005,25} = 0,25\%$$

Tabel 3. Data hasil pengukuran putaran setelah pengaturan tahanan shunt pada motor kompon panjang

V_t (V)	R_s (Ω)	T (Nm)	n (rpm)
50	25%	0,25	1128
50	50%	0,25	1122
50	75%	0,25	1109
50	100%	0,25	1085
50	25%	0,5	902
50	50%	0,5	894
50	75%	0,5	883
50	100%	0,5	845
50	25%	0,75	741
50	50%	0,75	725
50	75%	0,75	707
50	100%	0,75	679

Tabel 4. Data hasil pengukuran putaran setelah pengaturan tahanan shunt pada motor kompon pendek

V_t (V)	R_s (Ω)	T (Nm)	n (rpm)
50	25%	0,25	1212
50	50%	0,25	1208
50	75%	0,25	1202
50	100%	0,25	1193
50	25%	0,5	962
50	50%	0,5	958
50	75%	0,5	951
50	100%	0,5	938
50	25%	0,75	768
50	50%	0,75	765
50	75%	0,75	758
50	100%	0,75	747

Untuk motor kompon panjang setelah pengaturan tahanan shunt untuk beban 0,25 Nm didapat besarnya putaran :

$$n = \frac{1128+1122+1109+1085}{4} = 1111 \text{ rpm}$$

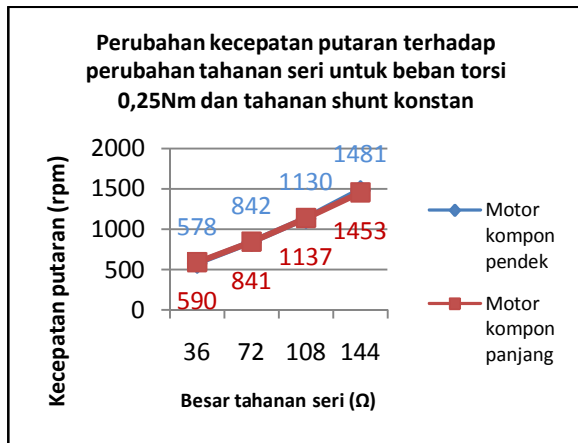
Untuk motor kompon pendek setelah pengaturan tahanan shunt untuk beban 0,25 Nm didapat besarnya putaran :

$$n = \frac{1212+1208+1202+1193}{4} = 1208,75 \text{ rpm}$$

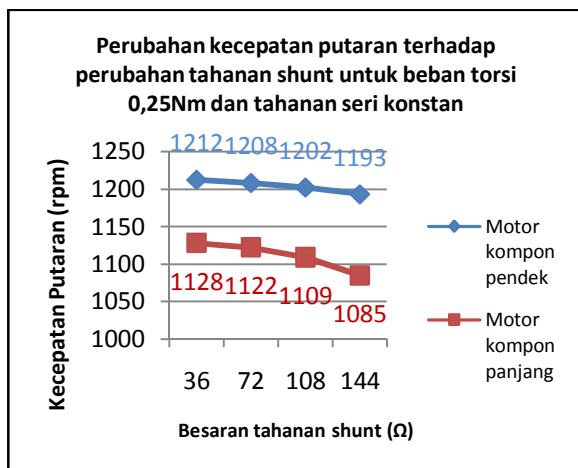
Sehingga didapat perbedaan perubahan kecepatan putaran motor kompon panjang dan motor kompon pendek untuk pengaturan tahanan shunt dengan beban 0,25 Nm adalah sebagai berikut:

$$\Delta n = \frac{1208,75-1111}{1111} = 8,8\%$$

Grafik perbandingan putaran terhadap tahanan shunt dan seri pada motor kompon panjang dan motor kompon pendek untuk beban 0,25 Nm ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8 berikut ini.



Gambar 7. Grafik perbandingan putaran terhadap tahanan seri



Gambar 8. Grafik perbandingan putaran terhadap tahanan shunt

Data hasil pengukuran dan perhitungan besaran-besaran untuk efisiensi ditunjukkan pada Tabel 5, Tabel 6, Tabel 7, dan Tabel 8 berikut ini.

Tabel 5. Data hasil perhitungan efisiensi setelah pengaturan tahanan seri pada motor kompon panjang

V_t (V)	R_s (Ω)	I_a (A)	I_f (A)	T (Nm)	n (rpm)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	η (%)
150	25%	0.705	0.46	0.25	590	174.75	15.44	8.83
150	50%	0.74	0.46	0.25	841	180.00	22.01	12.23
150	75%	0.78	0.46	0.25	1137	186.00	29.75	16.00
150	100%	0.82	0.455	0.25	1453	191.25	38.02	19.88
150	25%	0.92	0.46	0.5	312	207.00	16.33	7.89
150	50%	1	0.465	0.5	629	219.75	32.92	14.98
150	75%	1.1	0.46	0.5	1014	234.00	53.07	22.68
150	100%	1.25	0.46	0.5	1402	256.50	73.37	28.60
150	25%	1.08	0.48	0.75	63	234.00	4.95	2.11
150	50%	1.2	0.47	0.75	413	250.50	32.42	12.94
150	75%	1.28	0.46	0.75	802	261.00	62.96	24.12
150	100%	1.35	0.46	0.75	1350	271.50	105.98	39.03

Tabel 6. Data hasil perhitungan efisiensi setelah pengaturan tahanan seri pada motor kompon pendek

V_t (V)	R_s (Ω)	I_a (A)	I_f (A)	T (Nm)	n (rpm)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	η (%)
150	25%	0.7	0.48	0.25	578	177.00	15.12	8.54
150	50%	0.743	0.47	0.25	842	181.95	22.03	12.11
150	75%	0.761	0.47	0.25	1130	184.65	29.57	16.01
150	100%	0.82	0.47	0.25	1481	193.50	38.75	20.03
150	25%	0.915	0.46	0.5	295	206.25	15.44	7.49
150	50%	0.98	0.455	0.5	605	215.25	31.66	14.71
150	75%	1.18	0.46	0.5	978	246.00	51.18	20.81
150	100%	1.38	0.455	0.5	1427	275.25	74.68	27.13
150	25%	1.12	0.45	0.75	30	235.50	2.36	1.00
150	50%	1.25	0.455	0.75	362	255.75	28.42	11.11
150	75%	1.32	0.455	0.75	833	266.25	65.39	24.56
150	100%	1.4	0.455	0.75	1383	278.25	108.57	39.02

Tabel 7. Data hasil perhitungan efisiensi setelah pengaturan tahanan shunt pada motor kompon panjang

V_t (V)	R_s (Ω)	I_a (A)	I_f (A)	T (Nm)	n (rpm)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	η (%)
50	25%	3.19	0.124	0.25	1128	165.70	29.52	17.81
50	50%	3.22	0.136	0.25	1122	167.80	29.36	17.50
50	75%	3.4	0.148	0.25	1109	177.40	29.02	16.36
50	100%	3.67	0.168	0.25	1085	191.90	28.39	14.79
50	25%	3.45	0.123	0.5	902	178.65	47.20	26.42
50	50%	3.6	0.134	0.5	894	186.70	46.79	25.06
50	75%	3.75	0.146	0.5	883	194.80	46.21	23.72
50	100%	4	0.166	0.5	845	208.30	44.22	21.23
50	25%	3.75	0.123	0.75	741	193.65	58.17	30.04
50	50%	3.87	0.134	0.75	725	200.20	56.91	28.43
50	75%	4.03	0.145	0.75	707	208.75	55.50	26.59
50	100%	4.3	0.163	0.75	679	223.15	53.30	23.89

Tabel 8. Data hasil perhitungan efisiensi setelah pengaturan tahanan shunt pada motor kompon pendek

V_t (V)	R_s (Ω)	I_a (A)	I_f (A)	T (Nm)	n (rpm)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	η (%)
50	25%	2.8	0.1	0.25	1212	145.00	31.71	21.87
50	50%	3	0.11	0.25	1208	155.50	31.61	20.33
50	75%	3.15	0.12	0.25	1202	163.50	31.45	19.24
50	100%	3.6	0.35	0.25	1193	197.50	31.22	15.81
50	25%	3.2	0.1	0.5	962	165.00	50.34	30.51
50	50%	3.3	0.12	0.5	958	171.00	50.14	29.32
50	75%	3.43	0.14	0.5	951	178.50	49.77	27.88
50	100%	3.6	0.134	0.5	938	186.70	49.09	26.29
50	25%	3.51	0.96	0.75	768	223.50	60.29	26.97
50	50%	3.63	0.105	0.75	765	186.75	60.05	32.16
50	75%	3.75	0.115	0.75	758	193.25	59.50	30.79
50	100%	3.93	0.125	0.75	747	202.75	58.64	28.92

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Dengan pengaturan tahanan shunt, untuk besar tegangan masukan yang sama (50V), motor arus searah kompon panjang mempunyai kecepatan putaran yang lebih besar, 8,85% untuk beban 0,25 Nm, 7,97% untuk beban 0,5 Nm, dan 6,52% untuk beban 0,75 Nm dibanding motor arus searah kompon pendek.
2. Perubahan besarnya kecepatan putaran motor arus searah kompon panjang lebih besar dibanding motor arus searah kompon pendek dengan pengaturan tahanan shunt.
3. Dengan pengaturan tahanan seri, perbedaan kecepatan rata-rata motor arus searah kompon panjang dan motor arus searah kompon pendek sangat kecil, berkisar 0,25% untuk beban 0,25 Nm, 1,57% untuk beban 0,5 Nm, dan 0,72% untuk beban 0,75 Nm dengan besar tegangan masukan 150 V.
4. Untuk pengaturan tahanan seri, efisiensi motor arus searah kompon panjang lebih baik dibanding motor arus searah kompon pendek, sebaliknya untuk pengaturan tahanan shunt, efisiensi motor arus searah kompon pendek lebih baik dibandingkan motor arus searah kompon panjang.

6. Daftar Pustaka

- [1] Mehta, V.K. & Rohit Mehta, *Principial of Electrical Machines*, S. Chand & Company Ltd, New Delhi, 2002.
- [2] Jaya, Kaban, *Skripsi – Studi Penentuan Rugi-Rugi Motor Arus Searah Penguatan Kompon Pendek Dengan Menggunakan Metode Perlambatan (Retardation Test)*, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2011.
- [3] U.S. Department of Energy, *DOE Fundamentals Handbook Electrical Science*, Washington, D.C., 1992.
- [4] Theraja, B.L. & A.K. Theraja, *A Text Book of Electrical Technology*, Volume II, S. Chand & Company Ltd., New Delhi, 2000.
- [5] Wijaya, Mochtar, *Dasar-Dasar Mesin Listrik*, Penerbit Djambatan, Jakarta, 2001.