

# METODE PERLAMBATAN (RETARDATION TEST) DALAM MENENTUKAN RUGI-RUGI DAN EFISIENSI MOTOR ARUS SEARAH

Lamcan Raya Tamba, Eddy Warman

Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)

Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA

e-mail : [can90r@gmail.com](mailto:can90r@gmail.com)

## Abstrak

Suatu mesin arus searah atau mesin DC, dikatakan memiliki kinerja yang baik jika memiliki efisiensi yang tinggi, yang berarti juga bahwa mesin arus searah tersebut memiliki rugi-rugi daya yang kecil. Untuk mengetahui kemampuan atau kinerja suatu mesin arus searah perlu menganalisa mesin tersebut dengan melakukan pengujian, sehingga didapatkan nilai-nilai yang merujuk kepada rugi-rugi daya dan efisiensi. Dengan mengetahui rugi-rugi daya pada suatu mesin DC, maka kita dapat menentukan efisiensinya. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menghitung rugi-rugi motor DC. Salah satu metode yang bisa digunakan adalah metode Perlambatan (*retardation test*). Pada tulisan ini metode Perlambatan digunakan untuk mendapatkan besar rugi-rugi mekanis dan besi. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan bahwa efisiensi motor DC Kompon Panjang yang diuji mencapai nilai tertinggi pada keadaan  $\frac{3}{4}$  beban penuh, yaitu sebesar 71,58%.

**Kata Kunci : efisiensi motor dc kompon panjang, uji perlambatan**

## 1. Pendahuluan

Pada penggunaannya motor arus searah harus disesuaikan dengan kebutuhan agar ekonomis dan efisien. Untuk memenuhi semuanya ini, maka diperlukan motor arus searah yang memiliki efisiensi tinggi dan rugirugi rendah. Untuk itu sebelum digunakan perlu terlebih dahulu menganalisa motor arus searah tersebut sehingga didapatkan motor arus searah yang tepat seperti yang dibutuhkan. Banyak metode yang bisa digunakan dalam mendapatkan rugi-rugi dan efisiensi motor arus searah, salah satunya adalah dengan menggunakan metode Perlambatan (*Retardation test*). Pada metode Perlambatan, efisiensi didapatkan dengan terlebih dahulu mencari rugi besi dan rugi mekanis. Metode Perlambatan (*Retardation test*) dilakukan dengan cara memutar motor arus searah dengan kecepatan yang lebih tinggi dari kecepatan normalnya, setelah itu catu daya diputus sambil tetap menjaga penguatan kumparan medannya. Dalam tulisan ini akan menguji motor arus searah dengan metode Perlambatan dimana motor arus searah yang akan diuji adalah motor arus searah kompon panjang.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Motor Arus Searah

Motor arus searah bekerja berdasarkan prinsip interaksi antara dua fluksi magnetik. Ketika kumparan medan dan kumparan jangkar dihubungkan dengan sumber tegangan DC maka pada kumparan medan mengalir arus medan ( $I_r$ ) pada kumparan medan, sehingga menghasilkan fluksi magnet yang arahnya dari kutub utara menuju kutub selatan. Sedangkan pada kumparan jangkar mengalir arus jangkar ( $I_a$ ), sehingga pada konduktor kumparan jangkar timbul fluksi magnet yang melingkar. Fluksi jangkar ini akan memotong fluksi dari kumparan medan sehingga menyebabkan perubahan kerapatan fluksi dari medan utama. Sesuai hukum Lorentz, interaksi antara kedua fluksi magnet ini akan menimbulkan suatu gaya mekanik pada konduktor jangkar yang disebut gaya Lorentz. Besar gaya ini sesuai dengan persamaan 1 [1].

$$F = B \cdot i \cdot l \quad (1)$$

Dimana:

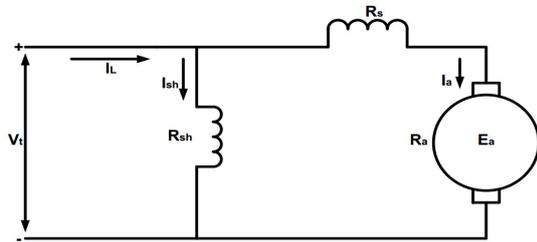
$F$  = Gaya yang bekerja pada konduktor (N)

$B$  = Kerapatan Fluks Magnetik ( $\text{Wb/m}^2$ )

$i$  = Arus yang mengalir pada konduktor (A)

$l$  = Panjang Konduktor (m)

Arah gaya ini dapat ditentukan dengan kaidah tangan kiri Flemming. Salah satu jenis motor DC penguatan sendiri adalah motor DC penguatan kompon panjang. Rangkaian ekuivalen motor dc kompon panjang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Ekuivalen Motor DC Kompon Panjang

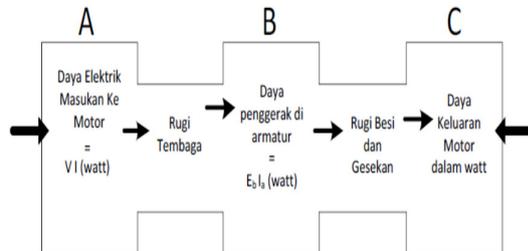
Persamaan umum motor arus searah penguatan kompon panjang [3]:

$$I_L = I_a + I_{sh} \quad V_t = E_a + I_a(R_a + R_s)$$

$$P_{in} = V_t I_L \quad V_t = V_{sh}$$

2.2 Efisiensi Motor DC

Efisiensi merupakan perbandingan antara daya keluaran terhadap daya keluaran motor dalam satuan persen. Gambar 2, adalah aliran daya pada motor DC.



Gambar 2 Aliran Daya Motor[2]

Efisiensi motor dapat dibagi tiga, yaitu:

1. Efisiensi Mekanik  $\eta_m = \frac{B}{A}$
2. Efisiensi Elektri  $\eta_e = \frac{C}{B}$
3. Efisiensi Keseluruhan  $\eta_e = \frac{C}{A}$

Terlihat pada Gambar 2 bahwa A – B = rugi tembaga dan B – C = rugo besi dan gesekan.

2.3 Rugi – rugi Motor DC

Pada motor DC, rugi – rugi dapat diklasifikasikan menjadi 5 kategori, yaitu:

1. Rugi – rugi tembaga (Pt)
2. Rugi – rugi sikat
3. Rugi – rugi inti (Pi)
4. Rugi – rugi mekanis
5. Rugi – rugi buta/lain – lain

Rugi – rugi di dalam motor DC diatas, juga dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu:

1. Rugi – rugi Konstan
2. Rugi – rugi Variabel

2.4 Uji Perlambatan

Ada beberapa metode pengujian yang dapat dilakukan pada mesin arus searah, salah satunya Uji Perlambatan (Retardation Test). Uji perlambatan (retardation test) ini diterapkan untuk motor arus searah, untuk mencari rugirugi butanya. Pada metode perlambatan kita akan mendapatkan rugi-rugi rotasi meliputi rugi-rugi besi dan mekanis (gesek dan angin) dari mesin yang diuji. Selanjutnya dengan mengetahui rugi-rugi tembaga kumparan pada saat berbeban, efisiensi dapat dihitung pada saat pembebanan tersebut. Anggap motor Sc lompong panjang bekerja pada saat tanpa beban, maka prinsipnya sebagai berikut:

1. Jika suplai ke jangkar dilepas tetapi medan tetap dieksitasi normal, motor tersebut akan melambat secara bertahap dan akhirnya berhenti. Energi kinetik jangkar digunakan untuk mengatasi rugi-rugi mekanis (gesek dan angin) dan rugi-rugi besi.
2. Jika suplai ke jangkar dan medan dilepas bersamaan, motor juga akan melambat dan akhirnya berhenti. Pada kasus ini energi kinetik jangkar digunakan hanya untuk mengatasi rugi-rugi mekanis (gesek dan angin) saja. Ini diperkirakan karena tidak adanya fluks sehingga tidak ada rugi-rugi besi.

Dari pengujian pertama, kita akan mendapatkan nilai rugi-rugi gesek, angin dan besi. Namun demikian, jika kita menjankan pengujian kedua, maka dapat dipisahkan antara rugi-rugi mekanis dengan rugi-rugi besi. Besarnya energi kinetik dari putaran jangkar atau rotor (rugi-rugi putaran) sebesar:

$$Ek = \frac{1}{2} J \omega^2 \quad (2)$$

Dimana:

$J$  = Momen Inersia ( $kgm^2$ )

$\omega$  = Kecepatan Sudut ( $rad/s$ ) =  $\frac{2\pi n}{60}$

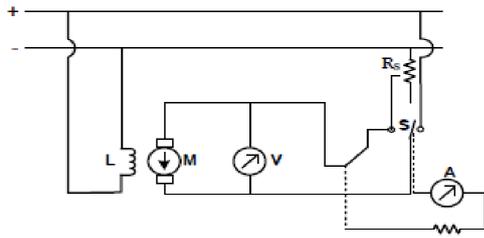
$n$  = Putaran Normal (rpm)

Maka pada metode retardasi, laju perubahan energi kinetik dianggap untuk mengatasi rugirugi rotasi motor. Jika perubahan energi kinetik ini disimbolkan dengan  $\Delta\omega$ , maka:

$$\Delta W = \frac{dEk}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{1}{2} J \omega^2 \right) = J \omega \frac{d\omega}{dt} \quad (3)$$

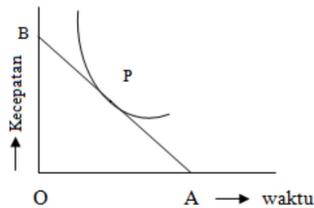
1. Menentukan dw/dt

Pada pengujian metode perlambatan digunakan rangkaian Gambar 3.



Gambar 3 Rangkain Uji Perlambatan Arus Searah[1]

Pada Gambar 3, sebuah Voltmeter V dihubungkan dengan kumparan jangkar. Voltmeter digunakan sebagai indikator kecepatan dengan peningkatan yang sesuai, karena  $E \propto N$ , dan  $N \propto \omega$ . Ketika catu daya diputus, kecepatan putar jangkar menurun dan juga tegangan yang ditunjukkan oleh Voltmeter menurun. Dengan memperhatikan nominal dari tegangan yang jatuh (menurun) pada lamanya waktu yang berbeda, sebuah kurva digambarkan antara waktu dan kecepatan (didapat dari nilai tegangannya).



Gambar 4 Kurva Hasil Percobaan Uji Perlambatan Arus Searah

Pada Gambar 4, garis P yang dihubungkan ke garis kecepatan normal, sudut tegangan AB digambar, sehingga  $dN/dt$  bisa ditentukan:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{OB \text{ (dalam rpm)}}{OA \text{ (dalam detik)}}$$

Dari persamaan (3), dimana  $\omega = 2\pi N/60$  (N dalam rpm), sehingga:

$$W = J \left[ \frac{2\pi N}{60} \right] \times \frac{d}{dt} \left[ \frac{2\pi N}{60} \right]$$

$$W = 0,011J \cdot N \frac{dN}{dt}$$

$$W = Ek = 0,011J \cdot N \frac{dN}{dt} \quad (4)$$

2. Menentukan Momen Inersia

Menghitung Momen Inersia, pertama-tama kurva penurunan (retardasi) digambar dengan jangkar saja. Kemudian roda gila dari momen inersia  $J_1$  dikunci pada poros dan kurva

penurunan digambar kembali. Waktu perlambatan akan lebih lama karena adanya kombinasi peningkatan momen inersia. Untuk tiap kecepatan yang diberikan,  $dN/dt_1$  dan  $dN/dt_2$  ditentukan seperti sebelumnya. Perlu diingat bahwa rugi-rugi pada kedua kasus hampir sama, karena penambahan roda gila tidak terlalu berpengaruh (diabaikan) terhadap rugi-rugi. Ek pada kedua kasus dapat dituliskan, yaitu:

Pada kasus pertama,  $Ek = \left[ \frac{2\pi}{60} \right]^2 J \cdot N \frac{dN}{dt_1}$

Pada kasus kedua,  $Ek = \left[ \frac{2\pi}{60} \right]^2 \cdot (J + J_1) \cdot N \frac{dN}{dt_1}$

$$(J + J_1) \cdot \left[ \frac{dN}{dt_2} \right] = J \cdot \left[ \frac{dN}{dt_1} \right]$$

Atau

$$\left[ \frac{J + J_1}{J} \right] = \frac{\left[ \frac{dN}{dt_1} \right]}{\left[ \frac{dN}{dt_2} \right]}$$

$$J = J_1 \times \left[ \frac{dt_1}{dt_2 - dt_1} \right]$$

$$J = J_1 \times \left[ \frac{t_1}{t_2 - t_1} \right] \quad (5)$$

Karena nilai  $J_1$ ,  $t_1$  dan  $t_2$  (dari pengamatan pada percobaan), maka momen inersia jangkar ( $J$ ) dan rugi-rugi rotasinya ( $W=Ek$ ) dapat ditentukan.

3. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Listrik Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2014. Penelitian dilakukan untuk mencari  $dt$  perlambatan rata-rata putaran motor dan juga data pembeban motor pada  $1/4$ ,  $1/2$ ,  $3/4$ , dan beban penuh. Adapun perhitungan yang dilakukan adalah menggunakan formulasi sebagai berikut:

1. Perhitungan Momen Inersia Motor DC Kompon Panjang

Momen inersia jangkar motor dapat dihitung dengan persamaan (5).

2. Perhitungan Rugi – rugi Rotasi Motor DC Kompon Panjang

Rugi-rugi rotasi motor dapat dihitung sebagai berikut:

$$W_{rot} = 0,011 \times J \times n \times \frac{dN}{dt_3} \text{ atau}$$

$$W_{rot} = 0,011 \times (J + J_1) \times n \times \frac{dN}{dt_4}$$

3. Perhitungan Rugi – rugi Konstan ( $W_c$ )  
 Rugi-rugi Konstan ( $W_c$ ) dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$W_c = W_{rot} + W_{sh} \quad (6)$$

Dimana:  $W_{sh} = (I_{sh})^2 \times R_{sh}$

4. Rugi – rugi Total ( $\sum w$ ) Motor DC

Rugi-rugi total merupakan penjumlahan dari semua rugi-rugi yang terjadi di dalam motor, yaitu:

$$\sum w = W_c + W_a + W_{sr} + W_{bd} \quad (7)$$

Dimana:

$$W_a = I_a^2 \times R_a \text{ (Rugi daya armature)}$$

$$W_{sr} = I_a^2 \times R_s \text{ (Rugi daya kumparan seri)}$$

$$W_{bd} = 2 \times I_a \text{ (Rugi jatuh tegangan sikat)}$$

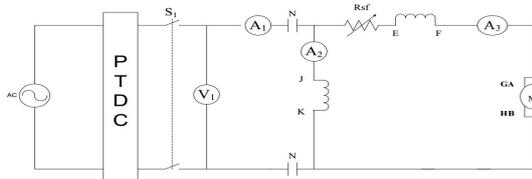
5. Perhitungan Efisiensi Motor DC Kompon Panjang

$$\eta m = \left[ 1 - \frac{\sum W}{P_{in}} \right] \times 100\% \quad (8)$$

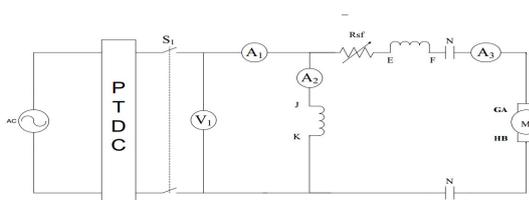
Pada metode Perlambatan (Retardation Test) ini, terdiri dari beberapa urutan pengujian yaitu:

1. Uji Retardasi dengan rotor sendiri tanpa eksitasi
2. Uji Retardasi dengan roda pejal tanpa eksitasi
3. Uji Retardasi dengan rotor sendiri eksitasi penuh
4. Uji Retardasi dengan roda pejal eksitasi penuh
5. Pengujian Retardasi pembebanan motor dc kompon panjang pada metode Retardasi

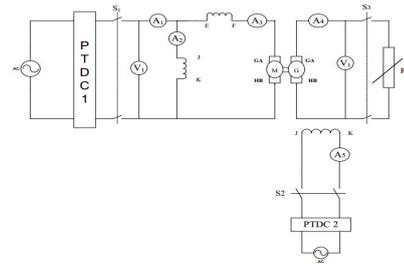
Rangkaian pengujian uji retardasi dapat dilihat pada Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 5. Rangkaian Percobaan Uji Retardasi Rotor Sendiri Tanpa Eksitasi



Gambar 6. Rangkaian Percobaan Uji Retardasi Rotor Sendiri Eksitasi Penuh



Gambar 7. Rangkaian Percobaan Pembebanan Motor DC Kompon Panjang dengan Metode Retardasi

Untuk Percobaan 2 gambar rangkaian percobaan Gambar 5 begitu juga dengan percobaan 4 gambar rangkaian percobaan Gambar 6, hanya saja dikopel dengan roda pejal.

#### 4. Analisa Data

Berdasarkan pengujian yang dilakukan maka diperoleh data– data Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Data Percobaan 1,2,3 dan 4 diperoleh dt rata-rata

No	Percobaan (dn: 1450 – 1350)	dt rata – rata (Detik)
1	Rotor sendiri tanpa eksitasi	0,88 (dt1)
2	Roda pejal tanpa eksitasi	2,43 (dt2)
3	Rotor sendiri eksitasi penuh	0,35 (dt3)
4	Roda pejal eksitasi penuh	0,94 (dt4)

Tabel 2 Pengujian Pembebanan Motor DC Kompon Panjang pada Metode Perlambatan

Beban	Vt	IL	Ia	Ish	n
¼ beban penuh	200	2,18	2,02	0,16	1380
½ beban penuh	200	4,20	4,2	0,16	1350
¾ beban penuh	200	5,76	5,6	0,16	1310
Beban penuh	200	7,06	6,9	0,16	1290

Berdasarkan data hasil pengukuran parameter motor dc kompon panjang, diketahui besarnya tahanan jangkar sebesar 3.8 ohm, tahanan kumparan medan sebesar 0,6 ohm dan tahanan medan shunt sebesar 1243 ohm. Untuk menaikkan putaran motor dc kompon panjang, maka tahanan Rfs ditempatkan seri terhadap kumparan jangkar yang besar tahananannya sebesar 100 Ohm. Sedangkan tahanan RL yang digunakan beban lampu pijar 20x45 Watt dan dikelompokkan seri menjadi 4 bagian menjadi 5x45 Watt, dimana untuk mencapai beban penuh motor nilai RL akan terus berubah. Dalam pengujian pembebanan motor Sc kompon panjang, penulis menentukan pembagian dari ¼ beban penuh sampai beban penuh.

4.1 Perhitungan Momen Inersia Motor DC Kompon Panjang

Pada data hasil pengujian Tabel 1, dapat ditentukan besarnya nilai momen inersia jangkar motor. Dimana momen inersia jangkar motor dapat dihitung dengan persamaan (5), dimana :

Untuk J1:

$$J1 = \frac{1}{2}Mr^2 \quad J1 = 0,055 \text{ Kgm}^2$$

Untuk J:

$$J = J1 \times \frac{t1}{t2-t1} \quad J = 0,0312 \text{ Kgm}^2$$

4.2 Perhitungan Rugi – rugi Rotasi Motor DC Kompon Panjang

Setelah diketahui momen inersia jangkar motor maka dapat dihitung rugi-rugi rotasi motor sebagai berikut : Berdasarkan data hasil percobaan pada Tabel 1 dapat dicari rugi-rugi gesek dan angin motor, yaitu :

$$W_{g+a} = 0,011 \times J \times n \times \frac{dN}{dt2} = 54,60 \text{ Watt}$$

Atau:

$$W'_{g+a} = 0,011 \times (J + J1) \times n \times \frac{dN}{dt2} = 54,63 \text{ Watt}$$

Jadi,

$$W_{g+a} \text{ rata - rata} = \frac{w+w'}{2} = \frac{54,60+54,63}{2} = 54,61 \text{ Watt}$$

Berdasarkan hasil perhitungan Wg+a diperoleh nilai rugi-rugi gesek dan angin motor rata-rata 54,61 Watt. Selanjutnya dari data hasil percobaan dt3 dan dt4 dapat dicari rugi-rugi rotasi motor sebagai berikut:

$$W_{rot} = 0,011 \times J \times n \times \frac{dN}{dt3} = 137,28 \text{ Watt}$$

Atau:

$$W_{rot} = 0,011 \times (J + J1) \times n \times \frac{dN}{dt3} = 141,21 \text{ Watt}$$

Jadi:

$$W_{rot} \text{ rata - rata} = \frac{w + w'}{2} = \frac{54,60 + 54,63}{2} = 84,64 \text{ Watt}$$

4.3 Perhitungan Rugi – rugi Konstan (Wc)

$$W_c = W_{rot} + W_{sh}$$

dimana:

$$W_{sh} = (I_{sh})^2 \times (R_{sh}) = (0,177)^2(1243) = 38,94 \text{ Watt}$$

Maka:

$$W_c = 139,25 + 38,94 = 178,20 \text{ Watt}$$

4.4 Perhitungan Rugi – rugi dan Efisiensi Motor DC Kompon Panjang

Pada Saat Beban ¼ Beban Penuh

Pada saat beban ¼ beban penuh efisiensi motor dapat ditentukan dengan mengetahui data pada keadaan ¼ beban penuh. Berdasarkan data motor DC kompon panjang kondisi ¼ beban penuh pada Tabel 2, maka dapat dihitung rugi-rugi motor DC lompong panjang pada situasi ¼ beban penuh yaitu:

$$P_{in} = Vt.IL = 200 \times 2,18 = 436 \text{ Watt}$$

$$W_c = W_{rot} + W_{sh} = 178,20 \text{ Watt}$$

$$W_a = I_a^2.R_a = (2,02)^2 \times 3,8 = 15,5 \text{ Watt}$$

$$W_{sr} = I_a^2.R_s = (2,02)^2 \times 0,6 = 2,45 \text{ Watt}$$

$$W_{bd} = 2.I_a = 2 \times 2,02 = 4,04 \text{ Watt}$$

Maka rugi-rugi total motor DC lompong panjang adalah:

$$\sum W = W_c + W_a + W_{sr} + W_{bd} = 200,19 \text{ Watt}$$

Jadi efisiensi Motor DC kompon panjang pada kondisi ¼ beban penuh adalah:

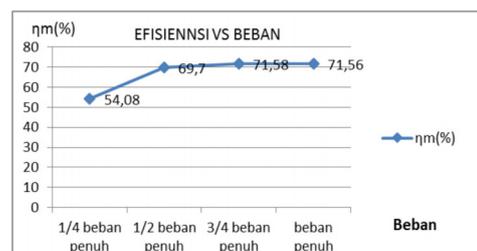
$$\eta_m = \left[ 1 - \frac{\sum w}{P_{in}} \right] \times 100\% = 54,08\%$$

Perhitungan untuk peningkatan beban lain disusun pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Rugi-rugi dan Efisiensi Motor DC Kompon Panjang dengan Beban Bervariasi pada Metode Retardasi

Volt (Volt)	IL (A)	Ia (A)	Ish (A)	N (Rpm)	$\sum w$ (watt)	$\eta_m$ (%)
200	2,18	2,02	0,16	1380	200,19	54,08
200	4,36	4,20	0,16	1350	264,21	69,70
200	5,76	5,60	0,16	1310	327,38	71,58
200	7,06	6,90	0,16	1290	401,50	71,56

Dari Tabel 3, didapat grafik efisiensi terhadap peningkatan beban motor seperti Gambar 8.



Gambar 8. Grafik perbandingan antara efisiensi terhadap perubahan beban motor DC Kompon Panjang

## 5. Kesimpulan

Dari hasil pembahasan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Metode Perlambatan (Retardation Test) terbukti dapat digunakan untuk mendapatkan besar efisiensi dari suatu motor dc kompon panjang, sehingga diketahui kemampuan motor tersebut.
2. Dari hasil pengujian berbeban Motor DC Kompon Panjang dengan metode Perlambatan (Retardation Test) dapat disimpulkan efisiensi terbaik didapat pada pada kondisi  $\frac{3}{4}$  beban penuh yaitu 71,58% dan efisiensi terendah terjadi pada saat kondisi  $\frac{1}{4}$  beban penuh yaitu 54,08%.
3. Dari hasil pengujian Motor DC Kompon Panjang dengan metode Perlambatan (Retardation Test) didapat rugi-rugi inti sebesar 84,64 Watt.

## 6. Daftar Pustaka

- [1] Theraja. B.L. & A.K. Theraja.2005. "*Electrical Technology*". S. Chand & Company Ltd, New Delhi.
- [2] Wijaya, Mochtar. 2001. "*Dasar-Dasar Mesin Listrik*", Penerbit Djambatan, Jakarta.
- [3] Metha, V.K & Metha Rohit. 2002. "*Principal of Electrical Machines*". S. Chand & Company Ltd, New Delhi.
- [4] Ardiansyah. 2013. "*Analisis Perbandingan Uji Regeneratif (Hopkinson) Dengan Uji Retardasi Dalam Menentukan Rugi-rugi dan Efisiensi Motor DC Penguatan Shunt*", Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik USU, Medan.