

# Pengembangan *Observer* untuk Pendeteksian Kecepatan Brushed DC Generator NC475

Widjonarko<sup>1</sup>

widjonarko.teknik@unej.ac.id  
Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember

A. Setiawan<sup>2</sup>

setiawan.teknik@unej.ac.id  
Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember

## Abstrak

Dalam makalah ini dibahas pengembangan *observer* kecepatan untuk generator arus searah (dc) bersikat NC475 yang dapat memperbaiki kemampuan pengukuran kecepatan dari sistem sensor yang berbasis sebuah *rotary encoder*. Kedua sistem pengukur dan pencatatan kecepatan ini dibangun dengan menggunakan kontroler Arduino UNO dan kemampuan *recording* dari kedua sistem ini juga dibandingkan. Pengujian yang dilakukan untuk melihat *error* pembacaan *observer* menunjukkan bahwa *observer* ini cukup memadai dengan persen *error* 1.9% terhadap hasil pembacaan sensor kecepatan berbasis *rotary encoder* yang dalam hal ini dijadikan sebagai standar. Hasilnya menunjukkan bahwa *observer* yang dibuat dalam penelitian ini mampu melakukan deteksi kecepatan dan pencatatan 100 *records* per detik sementara untuk sistem dengan menggunakan *rotary encoder* hanya mampu melakukan pencatatan data 20 *records* per detik. Dengan hasil ini maka sistem *observer* ini lebih memadai untuk mendukung proses pengaturan kecepatan generator yang memerlukan respons kendali yang lebih cepat.

**Kata Kunci** — *dc generator, speed observer, Arduino UNO*

## Abstract

*In this paper, the development of a speed observer of a brushed direct current (dc) generator NC475 to increase the generator speed measurements of a rotary encoder-based speed sensor is discussed. Speed measurement and recording system were built using an Arduino UNO controller. The recording capabilities of the two systems (Speed observer and encoder based speed sensor) are also compared. Experiment result of readings error indicates that the observer is quite adequate with the percent error is 1.9%. Other experiment results show that the speed observer developed in this study is capable of measuring and recording the speed of 100 records per second, while the sensor system based on an encoder only capable of performing data recording of 20 records per second. These experiment results show that developed speed observer system is adequate to support the generator speed control process that requires faster response.*

**Keywords** — *dc generator, speed observer, Arduino UNO*

## I. PENDAHULUAN

Pada umumnya generator tidak memerlukan piranti yang secara khusus digunakan untuk mengukur kecepatan karena parameter terpenting dari sebuah generator adalah tegangan

dan daya keluarannya [1]. Untuk generator arus searah (dc), tegangan dapat langsung dideteksi dengan mengukur tegangan terminal generator dan dayanya dapat dideteksi dengan mendeteksi arus keluaran yang diukur dengan sensor arus dan mengalikannya dengan besaran tegangan keluarannya. Untuk generator bolak-balik (ac), jika diperlukan untuk mendeteksi kecepatan, maka dapat dilakukan dengan menempatkan pencacah frekuensi yang langsung mewakili kecepatan putar dari generator tersebut.

Untuk kasus tertentu, di mana kondisi pengoperasian optimum dari turbin atau penggerak mula daripada generator tersebut terkait erat dengan parameter kecepatan, informasi kecepatan generator menjadi penting. Untuk kasus seperti ini umumnya digunakan sensor kecepatan yang dibangun dengan menggunakan *rotary encoder* [2] atau dengan menggunakan piranti lain seperti *hall effect sensor* [3].

Pada kasus tertentu di mana diharapkan pengaturan dengan respons yang tinggi, *rotary encoder* dan *hall effect sensor* yang dikombinasikan dengan kontroler yang menggunakan komunikasi serial kurang memadai untuk digunakan karena permasalahan kecepatan transfer data [4]. Permasalahan inilah yang hendak diselesaikan dalam penelitian ini dengan mengembangkan sebuah *observer* kecepatan yang membaca kecepatan berdasarkan tegangan dan arus keluaran dari generator dc.

Lebih jauh lagi, dengan sebuah *observer* yang membaca kecepatan berdasarkan sensor arus dan sensor tegangan, berarti telah menyederhanakan sistem dan sekaligus meningkatkan keandalan sistem karena menghindari pemakaian sensor elektro-mekanik yang kurang kokoh (*fragile*) [5] dan menghindari kerumitan kalibrasi sensor yang ketepatan pembacaannya mudah berubah karena pengaruh mekanis.

## II. METODE

Penelitian untuk mengembangkan *observer* kecepatan ini dilakukan dengan terlebih dahulu membangun sebuah sistem yang terdiri dari sebuah rangkaian motor-generator di mana motor berfungsi sebagai penggerak mula (*prime mover*).

Pada sistem ini ditempatkan sebuah sensor kecepatan yang dibangun dari sebuah *rotary encoder*, photo diode dan sebuah led infrared. Sistem sensor berbasis *rotary encoder* ini dihubungkan dengan sebuah kontroler Arduino UNO yang

dalam sistem ini sekaligus berfungsi sebagai *data logger* untuk pencatatan (*recording*) kecepatan yang dideteksi dengan sistem sensor. Di samping itu, pada plant ini juga digunakan sensor arus dan sensor tegangan yang digunakan untuk mendeteksi arus dan tegangan generator. Selanjutnya dilakukan percobaan untuk melihat kemampuan sistem dengan piranti sensor ini dalam mendeteksi kecepatan generator.

Langkah penelitian selanjutnya adalah mengembangkan *observer* yang bekerja berdasarkan tegangan dan arus keluaran dari generator yang dideteksi dengan sensor arus dan sensor tegangan. Secara lebih detail, langkah-langkah penelitian yang dilakukan untuk mengembangkan *observer* kecepatan adalah sebagaimana dijelaskan dalam bagian berikut ini.

**A. Perancangan Plant**

Rangkaian alat percobaan yang digunakan untuk mengembangkan *observer* kecepatan ini adalah sebagaimana terlihat dalam Gbr 1. Dalam gambar tersebut terlihat bahwa sebuah motor dc (M) dirangkai dengan sebuah generator dc (G) dengan melalui sebuah sistem transmisi mekanis yang terdiri dari *pulley* dan roda gigi. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan rentang pengaturan kecepatan yang lebih lebar pada generator.

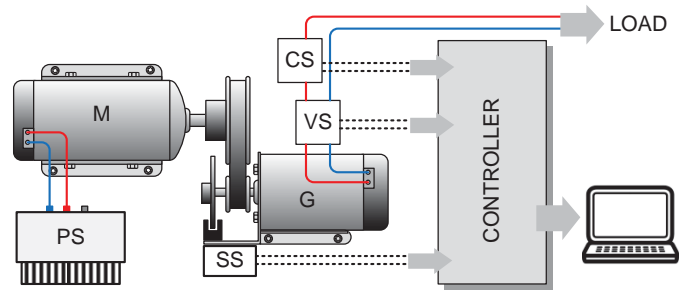
Mesin yang digunakan sebagai generator adalah mesin dc *magnet permanent* adalah NISCA NC475C dengan daya nominal 30 watt dengan tegangan tegangan nominal 24 volt dan arus nominal 1.25 ampere [6]. Sedangkan mesin yang digunakan sebagai motor adalah HITACHI DC MOTOR 006040 IE dengan tegangan nominal 30 volt dan arus maksimum 2.0 ampere. Sebagai penggerak, motor dc M dicatu dengan menggunakan *power supply* dc untuk mengatur kecepatan dari motor penggerak ini.

Dalam Gbr 1 juga terlihat bahwa pada plant ini juga ditempatkan beberapa sensor. SS adalah sistem sensor kecepatan yang terdiri dari sebuah rotary encoder dan photo sensor. SS terhubung dengan sebuah kontroler Arduino UNO yang berfungsi sebagai *data logger*.

Selain SS, pada output generator ditempatkan sebuah sensor tegangan VS dan sebuah sensor arus CS. VS dibangun dari rangkaian pembagi tegangan yang terdiri dari serangkaian resistor untuk menghasilkan perbandingan yang sesuai antara tegangan terukur dan tegangan untuk diumpankan ke *port analog to digital* (ADC) pada Arduino UNO. Sensor arus di sini menggunakan ACS712 yang merupakan sensor arus yang sudah umum digunakan [7]. Output dari ACS712 juga diumpankanbalikkan ke salah satu input dari Arduino UNO.

Terminal *output* dari generator dc juga dihubungkan dengan sistem beban yang berupa serangkaian beban dc untuk menghasilkan variasi daya *output* dari generator.

Dalam percobaan, kontroler dihubungkan dengan *personal computer* (PC) agar dapat lebih mudah untuk melakukan *data recording*.



Gbr. 1 Plant yang dibangun untuk pengembangan *observer* kecepatan.

**H. Kalibrasi Sensor**

Percobaan awal ini digunakan untuk melakukan kalibrasi sistem sensor kecepatan, sensor tegangan dan sensor arus dengan menggunakan pembanding peralatan ukur standar.

Percobaan untuk kalibrasi sensor kecepatan dilakukan tanpa membebani generator karena titik berat dari langkah ini adalah untuk melihat *error* antara pembacaan sistem sensor kecepatan SS dengan pembanding sebuah *digital tachometer*.

Untuk kalibrasi sensor tegangan dan sensor arus, generator diputar dengan kondisi berbeban. Beban dibuat bervariasi untuk mendapatkan data arus dan tegangan yang bervariasi. Hasil pembacaan kedua sensor ini dibandingkan dengan pembacaan voltmeter dan amperemeter standar.

Data hasil percobaan ini dan pembahasannya disajikan dalam bagian III.

**I. Percobaan dan Pengembangan Observer Kecepatan**

Percobaan ini dilakukan setelah semua sensor berhasil dikalibrasi, dengan kata lain hasil pembacaan sensor-sensor telah menghasilkan *error* yang dianggap cukup memadai. Percobaan dilakukan dengan menjalankan plant dalam Gbr. 1 secara lengkap dan mencatat hasil pembacaan sensor-sensor dengan PC.

Setelah melakukan percobaan, data kecepatan, tegangan dan arus yang bersesuaian dianalisis untuk dapat membangun hubungan persamaan linier yang menyatakan hubungan antara kecepatan dengan variasi arus dan tegangan generator.

Secara teoritis, hubungan antara tegangan terminal ( $v_T$ ), arus jangkar ( $i_a$ ) dan gaya gerak listrik yang dibangkitkan ( $e_g$ ) dari generator dc dijelaskan dengan Persamaan (1) [8].

$$v_T = e_g - i_a R_a - L \frac{di_a}{dt} \tag{1}$$

Dalam Persamaan (1) di atas,  $R_a$  dan  $L_a$  berturut-turut adalah resistansi dan induktansi jangkar dari generator.

Dalam kondisi *steady state*, di mana tidak ada perubahan nilai sesaat dari arus jangkar, maka suku terakhir dalam Persamaan (1) adalah sama dengan nol sehingga Persamaan (1) dapat ditulis sebagaimana Persamaan (2).

$$V_T = E_g - I_a R_a \tag{2}$$

Besaran  $E_g$  sebanding dengan kecepatan putaran generator ( $\omega_r$ ) yang dinyatakan dengan [9]:

$$E_g = k_e \omega_r \tag{3}$$

Dalam Persamaan (1) di atas, satuan  $E_g$  dinyatakan dalam volt dan kecepatan  $\omega_r$  adalah kecepatan sudut rotor generator yang dinyatakan dalam radian per detik. Sedangkan  $k_e$  sering disebut dengan *voltage constant* yang dinyatakan dalam satuan *volt per radian per second*.

Selanjutnya, dari Persamaan (2) dan (3) dapat dibuat sebuah persamaan baru yaitu:

$$V_T = k_e \omega_r - I_a R_a \quad (4)$$

atau

$$\omega_r = \frac{V_T + I_a R_a}{k_e} \quad (5)$$

Dengan memperhatikan bahwa  $R_a$  adalah sebuah nilai konstan dan data kecepatan yang didapat dari percobaan ini dinyatakan dalam satuan *revolution per minute* (rpm), maka Persamaan (5) dapat dinyatakan dalam sebuah persamaan linier sebagai berikut:

$$N_r = A_1 + A_2 V_T + A_3 I_a \quad (6)$$

Dalam (6),  $N_r$  adalah kecepatan putaran generator yang dinyatakan dalam satuan rpm sedangkan  $A_1$ ,  $A_2$  dan  $A_3$  adalah konstanta-konstanta yang dapat ditentukan dengan regresi linier dari serangkaian data yang dihasilkan dari percobaan generator berbeban.

Dengan demikian, persamaan yang akan digunakan untuk mengobservasi kecepatan berdasarkan nilai tegangan dan arus keluaran dari generator sudah didapatkan.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil beberapa percobaan yang dilakukan untuk mengkalibrasi sensor dan pembahasannya serta hasil percobaan mengembangkan *observer* disajikan dalam bagian ini.

#### A. Hasil Kalibrasi Sensor

Percobaan untuk melakukan kalibrasi pada hasil pembacaan sensor kecepatan dilakukan dengan membandingkan pembacaan yang didapatkan dari sensor kecepatan. Percobaan ini dilakukan tanpa membebani generator karena yang dipentingkan adalah mendapatkan beberapa data untuk melakukan *adjustment* terhadap sebuah konstanta pengali ( $k_I$ ) jumlah pulsa yang dihitung pada jumlah cacahan pewaktu tertentu ( $t$ ) yang dibangkitkan dalam kontroler.

$$Speed_{rpm} = k_S \sum_0^t pulse \quad (7)$$

*Adjustment* nilai  $k_I$  dilakukan dengan membandingkan nilai hasil beberapa pembacaan awal dan kemudian melakukan proses regresi untuk mendapatkan nilai  $k_S$  yang sesuai. Setelah kalibrasi dilakukan, hasil perbandingan pembacaan sensor kecepatan dengan *tachometer* ( $T_m$ ) adalah sebagaimana terlihat dalam Tabel I. Dalam tabel tersebut terlihat bahwa hasil kalibrasi sensor kecepatan (SS) terhadap digital tachometer yang digunakan sebagai pembanding menghasilkan *error* rata-rata sebesar 0.57%. Jika diperhatikan dengan lebih seksama, besarnya selisih pembacaan antara SS dengan  $T_m$  adalah  $\pm 6.0$  rpm.

Kalibrasi sensor tegangan VS dan sensor arus CS dilakukan secara tersendiri, yaitu untuk melakukan *adjustment* terhadap nilai-nilai konstanta yang diperlukan.

Untuk kalibrasi tegangan digunakan persamaan seperti dalam Persamaan (8).  $V_{ADC}$  adalah hasil konversi pembacaan analog dari port sensor tegangan pada kontroler, sedangkan  $k_V$  adalah konstanta yang harus diatur nilainya agar didapatkan pembacaan yang sesuai dengan voltmeter  $V_m$  yang digunakan sebagai kalibrator.

$$VS = \frac{k_V}{T_S} \sum_0^{T_S} (V_{ADC})^2 \quad (8)$$

Kalibrasi sensor arus CS dilakukan untuk mengatur nilai yang  $k_{C1}$  dan  $k_{C2}$  yang sesuai dalam Persamaan (9) sehingga didapatkan pembacaan sensor CS yang mendekati nilai pembacaan ampere meter ( $A_m$ ) yang digunakan sebagai kalibrator.

$$CS = k_{C1} + \frac{k_{C2}}{T_S} \sum_0^{T_S} (I_{ADC})^2 \quad (9)$$

Dalam Persamaan (9) nilai  $I_{ADC}$  adalah hasil konversi ke nilai digital dari pembacaan nilai analog pada port input arus pada kontroler. Dalam Persamaan (8) dan Persamaan (9),  $T_S$  adalah rentang waktu pengambilan data (*sampling time*) yang dipilih untuk pengambilan data. Dalam percobaan untuk kalibrasi ini dipilih  $T_S$  sebesar 10, yang berarti pengambilan data dilakukan 10 kali dalam 1 detik. Dalam kedua persamaan tersebut nilai pembacaan  $V_{ADC}$  dan  $I_{ADC}$  dicari dalam bentuk *root mean square* karena nilai ini sebenarnya berfluktuasi pada setiap saat karena generator dc yang digunakan adalah generator dc yang menggunakan sikat (*brushed*).

Hasil kalibrasi untuk VS dan CS diperlihatkan dalam Tabel I. Terlihat bahwa *error* rata-rata untuk pembacaan sensor tegangan adalah 0.44% dan untuk sensor arus adalah 0.49%.

#### B. Pembuatan Persamaan Observer Kecepatan

Dalam bagian ini akan dibahas hasil kegiatan percobaan untuk melakukan *adjustment* dari konstanta-konstanta pada persamaan *observer* kecepatan seperti dalam Persamaan (6).

Percobaan dilakukan dengan menggunakan rangkaian percobaan yang lengkap seperti terlihat dalam Gbr. 1. Untuk mendapatkan data yang memadai, perubahan kecepatan penggerak dilakukan dengan mengatur *catu daya* dc sedangkan untuk mendapatkan nilai arus beban yang bervariasi dilakukan dengan menambah dan mengurangi beban dc pada generator.

Pada percobaan awal diambil serangkaian data untuk memberikan gambaran hubungan antara tegangan hasil pembacaan VS, arus pembacaan CS dan kecepatan hasil pembacaan SS. Data ini digunakan untuk melakukan regresi linier untuk mendapatkan nilai konstanta  $A_1$ ,  $A_2$  dan  $A_3$  dalam Persamaan (6). Tabel II menunjukkan contoh data dari total 1000 data yang dipilih untuk dapat menyelidiki hubungan linier dari pembacaan VS, CS dan SS.

Proses regresi linier menghasilkan nilai  $A_1 = 27.8645$ ,  $A_2 = 129.7505$  and  $A_3 = 298.8085$ , sehingga Persamaan (6) dapat dituliskan sebagai:

$$SS = 27.8645 + 129.7505VS + 298.8085CS \quad (10)$$

TABEL I  
HASIL KALIBRASI SENSOR

No	Tegangan (V)		%Err	Arus (A)		%Err	Kecepatan (rpm)		%Err		
	VS	Vm		CS	Am		SS	Tm			
1	1.068	1.06	0.73	0.161	0.16	0.92	326	320	1.99		
2	2.114	2.10	0.68	0.303	0.30	0.86	412	406	1.49		
3	4.147	4.12	0.66	0.424	0.42	0.74	506	500	1.20		
4	6.056	6.02	0.60	0.485	0.48	0.73	806	800	0.75		
5	8.105	8.06	0.56	0.545	0.54	0.71	1006	1000	0.60		
6	9.853	9.80	0.54	0.617	0.61	0.64	1206	1200	0.50		
7	10.100	10.06	0.40	0.906	0.90	0.62	1606	1600	0.38		
8	14.856	14.80	0.38	1.031	1.03	0.49	2006	2000	0.30		
9	18.085	18.02	0.36	1.085	1.08	0.46	2406	2400	0.25		
10	19.867	19.80	0.34	1.124	1.12	0.34	2806	2800	0.21		
11	20.257	20.20	0.28	1.144	1.14	0.33	3006	3000	0.20		
12	21.464	21.40	0.30	1.173	1.17	0.23	3106	3100	0.19		
13	22.360	22.30	0.27	1.222	1.22	0.15	3306	3300	0.18		
14	23.652	23.60	0.22	1.231	1.23	0.08	3426	3420	0.18		
15	24.058	24.00	0.24	1.240	1.24	0.01	3466	3460	0.17		
Error Rata-rata =			0.44	Error Rata-rata =			0.49	Error Rata-rata =			0.57

TABEL II  
DATA HUBUNGAN TEGANGAN, ARUS DAN KECEPATAN

No	Data Awal			No	Data Awal			No	Data Awal		
	SS	VS	CS		SS	VS	CS		SS	VS	CS
1	0	0	0	401	1430	9.68	0.45	801	1939	13.53	0.52
2	424	2.99	0.03	402	1430	9.69	0.46	802	1939	13.55	0.52
3	436	3.07	0.03	403	1430	9.71	0.47	803	1939	13.74	0.4
4	436	3.1	0.02	404	1430	10.86	0.01	804	1939	14.55	0.15
5	484	1.95	0.63	405	1430	10.88	0.02	805	1951	12.97	0.77
6	496	2.09	0.61	406	1430	10.9	0.01	806	1951	13.02	0.74
7	496	2.1	0.61	407	1430	10.93	0.01	807	1951	13.05	0.75
8	521	3.3	0.19	408	1430	10.94	0.01	808	1951	13.06	0.75
9	533	2.27	0.67	409	1430	10.95	0.01	809	1951	13.07	0.77
10	533	3.79	0.04	410	1430	10.96	0.01	810	1951	13.09	0.75
101	787	3.53	1.03	501	1660	10.86	0.74	901	2012	14.65	0.3
102	787	3.54	1.03	502	1660	12.39	0.13	902	2012	14.66	0.29
103	787	3.55	1.03	503	1660	12.41	0.13	903	2012	14.66	0.3
104	787	5.59	0.1	504	1660	12.68	0.01	904	2012	14.67	0.29
105	787	5.6	0.11	505	1672	11.06	0.65	905	2024	13.51	0.78
106	787	5.62	0.11	506	1672	11.19	0.64	906	2024	13.54	0.77
107	800	3.51	1.1	507	1672	12.82	0.01	907	2024	13.54	0.8
108	800	3.64	1.01	508	1684	11.16	0.65	908	2024	13.57	0.78
109	800	3.64	1.02	509	1684	11.16	0.66	909	2024	13.57	0.8
110	800	5.38	0.22	510	1684	11.18	0.66	910	2024	13.59	0.78
201	993	6.5	0.38	601	1757	11.93	0.58	920	2036	13.6	0.78
202	993	6.99	0.19	602	1757	11.94	0.57	930	2060	13.79	0.8
203	993	7.31	0.08	603	1757	11.95	0.58	940	2109	14.02	0.84
204	1006	6.55	0.39	604	1757	13.07	0.14	950	2121	14.24	0.83
205	1006	6.84	0.28	605	1757	13.16	0.14	960	2133	14.31	0.83
206	1006	7.1	0.19	606	1757	13.17	0.14	970	2145	14.33	0.83
207	1018	6.95	0.28	607	1757	13.44	0.01	980	2157	14.47	0.86
208	1018	7.51	0.08	608	1757	13.45	0.01	988	2169	14.57	0.86
209	1054	7.19	0.29	609	1757	13.46	0.01	989	2181	14.56	0.86
210	1066	6.82	0.47	610	1757	13.51	0.01	990	2181	14.68	0.86
301	1309	9.3	0.26	701	1842	13.49	0.26	991	2193	14.69	0.84
302	1309	9.43	0.18	702	1842	13.8	0.14	992	2193	14.76	0.85
303	1309	9.46	0.17	703	1854	12.4	0.72	993	2193	14.77	0.85
304	1309	9.68	0.09	704	1854	12.4	0.73	994	2206	14.79	0.85
305	1309	9.69	0.09	705	1854	12.56	0.61	995	2206	14.85	0.86
306	1309	9.71	0.09	706	1854	12.6	0.61	996	2218	14.88	0.86
307	1321	8.65	0.52	707	1854	12.62	0.61	997	2218	14.89	0.86
308	1321	8.68	0.51	708	1854	12.83	0.52	998	2230	14.9	0.86
309	1321	8.71	0.51	709	1854	12.9	0.52	999	2230	14.92	0.86
310	1321	9.04	0.36	710	1854	13.52	0.27	1000	2230	14.94	0.88

Persamaan (10) adalah persamaan *observer* kecepatan yang kemudian digunakan untuk menggantikan pembacaan sensor kecepatan SS.

C. Pengujian *Observer* Kecepatan

Pengujian untuk kerja *observer* kecepatan ini dilakukan dengan melakukan beberapa percobaan. Percobaan pertama dilakukan untuk melihat *error* pembacaan *observer* terhadap pembacaan SS. Rangkaian percobaan yang sama digunakan dan skenario perubahan kecepatan dan arus beban dilakukan dengan cara yang sama seperti ketika pengambilan data untuk membangun persamaan *observer* kecepatan.

Tabel III menunjukkan perbandingan pembacaan antara sensor kecepatan sebagai standar dengan *observer* kecepatan dari Persamaan (10).

Gbr. 2 adalah grafik yang dibuat berdasarkan pembacaan data yang sama dengan Tabel III, tapi dalam grafik ini juga disertakan data pembacaan arus oleh CS. Perhitungan persen *error* rata-rata dari pembacaan *observer* terhadap pembacaan sensor kecepatan adalah 1.9%.

Dengan membandingkan Tabel III dan grafik dalam Gbr. 2 terlihat bahwa *error observer* yang cukup besar terjadi jika ada perubahan arus yang cukup drastis, baik saat arus naik maupun tiba-tiba turun.

Secara analitis hal ini dapat dipahami karena persamaan *observer* kecepatan mengabaikan suku terakhir yang mengandung faktor induktansi dan tingkat perubahan arus jangkar. Dalam kondisi ini sistem tidak berada dalam kondisi *steady state* seperti asumsi awal yang dibuat untuk membangun persamaan *observer* kecepatan ini.

Percobaan selanjutnya dilakukan untuk membandingkan kemampuan kedua metode deteksi kecepatan ini untuk melakukan *logging* data. Waktu sampling data diubah-ubah agar dapat dilihat seberapa besar jumlah data yang bisa dicuplik dan disimpan dalam setiap detiknya.

Dalam percobaan sebelumnya, waktu sampling yang digunakan adalah 10 data/detik dan kedua metode menunjukkan kemampuan yang sama. Untuk percobaan selanjutnya digunakan waktu sampling 20, 50 dan 100 data/detik dan hasilnya sebagaimana ditabelkan dalam Tabel IV.

Dari hasil percobaan ini terlihat bahwa untuk waktu sampling 20 data/detik, baik sensor kecepatan dan *observer* masih mampu melakukan pencuplikan dan penyimpanan data dengan baik tapi untuk waktu sampling 50 data/detik sistem sensor kecepatan dengan rotary encoder tidak dapat melakukan penyimpanan data sedangkan *observer* masih bisa melakukan pencatatan dengan baik.

Percobaan dilanjutkan untuk melihat unjuk kerja *observer* untuk melakukan pencuplikan dan pencatatan data dengan waktu sampling 100 data/detik dan hasilnya sebagaimana terlihat dalam Tabel IV.

Dari hasil percobaan dengan mengubah waktu sampling ini terlihat bahwa *observer* dapat melakukan deteksi kecepatan dengan waktu sampling yang lebih cepat.



TABEL III  
PERBANDINGAN HASIL PEMBACAAN *OBSERVER* DAN SENSOR KECEPATAN

Waktu (detik)	Sensor (rpm)	Observer (rpm)	Error (rpm)	% Error (%)	Waktu (detik)	Sensor (rpm)	Observer (rpm)	Error (rpm)	% Error (%)
0	0	30	30	-	61	2157	2139	18	0.83
0.1	315	326	11	3.49	62	2157	2134	23	1.07
0.2	363	330	33	9.09	63	2218	2191	27	1.22
0.3	363	329	34	9.37	64	2206	2187	19	0.86
0.4	363	338	25	6.89	65	2206	2185	21	0.95
0.5	363	331	32	8.82	66	2230	2207	23	1.03
0.6	363	334	29	7.99	67	2303	2268	35	1.52
0.7	375	329	46	12.27	68	2315	2288	27	1.17
0.8	363	331	32	8.82	69	2315	2283	32	1.38
0.9	363	342	21	5.79	70	2290	2278	12	0.52
1	363	330	33	9.09	71	2303	2273	30	1.30
2	363	331	32	8.82	72	2290	2277	13	0.57
3	363	330	33	9.09	73	2290	2277	13	0.57
4	375	337	38	10.13	74	2278	2277	1	0.04
5	363	339	24	6.61	75	2290	2272	18	0.79
6	581	546	35	6.02	76	2303	2241	62	2.69
7	569	550	19	3.34	77	2121	2074	47	2.22
8	581	547	34	5.85	78	1927	1911	16	0.83
9	800	779	21	2.63	79	1733	1718	15	0.87
10	812	774	38	4.68	80	1490	1460	30	2.01
11	800	773	27	3.38	81	1224	1198	26	2.12
12	690	679	11	1.59	83	1272	1292	20	1.57
13	1503	1538	35	2.33	84	1321	1305	16	1.21
14	1503	1538	35	2.33	85	1381	1367	14	1.01
15	1503	1543	40	2.66	86	1539	1538	1	0.06
16	1503	1542	39	2.59	87	1648	1658	10	0.61
17	1503	1540	37	2.46	88	1769	1804	35	1.98
18	1430	1417	13	0.91	89	1769	1808	39	2.20
19	1393	1399	6	0.43	90	1781	1804	23	1.29
20	1406	1398	8	0.57	91	751	736	15	2.00
21	1393	1404	11	0.79	92	763	738	25	3.28
22	1309	1294	15	1.15	93	763	737	26	3.41
23	1321	1295	26	1.97	94	751	737	14	1.86
24	1236	1214	22	1.78	95	763	735	28	3.67
25	1236	1211	25	2.02	96	751	733	18	2.40
26	1224	1211	13	1.06	97	739	731	8	1.08
27	1248	1245	3	0.24	98	739	716	23	3.11
28	1563	1556	7	0.45	99	727	711	16	2.20
29	1793	1783	10	0.56	100	727	718	9	1.24
30	1915	1914	1	0.05	101	739	715	24	3.25
31	2169	2175	6	0.28	102	727	718	9	1.24
32	2266	2265	1	0.04	104	727	707	20	2.75
33	2290	2291	1	0.04	105	727	700	27	3.71
34	2569	2547	22	0.86	106	727	699	28	3.85
35	2557	2546	11	0.43	107	715	695	20	2.80
36	2545	2551	6	0.24	108	715	698	17	2.38
37	2545	2544	1	0.04	109	715	694	21	2.94
38	2545	2538	7	0.28	110	715	694	21	2.94
39	2545	2539	6	0.24	111	727	697	30	4.13
40	2557	2535	22	0.86	112	727	693	34	4.68
41	2545	2542	3	0.12	113	1260	1243	17	1.35
42	2424	2413	11	0.45	114	1272	1248	24	1.89
43	2315	2300	15	0.65	115	1272	1241	31	2.44
44	2242	2213	29	1.29	116	1272	1243	29	2.28
45	2230	2217	13	0.58	117	1272	1241	31	2.44
46	2145	2124	21	0.98	118	1260	1242	18	1.43
47	2133	2134	1	0.05	119	1260	1244	16	1.27
48	2133	2127	6	0.28	120	1260	1243	17	1.35
49	2133	2121	12	0.56	121	1393	1376	17	1.22
50	2145	2123	22	1.03	122	1490	1458	32	2.15
51	2181	2179	2	0.09	123	1551	1547	4	0.26
52	2181	2175	6	0.28	124	1551	1543	8	0.52
53	2181	2157	24	1.10	125	1575	1636	61	3.87
54	2193	2153	40	1.82	126	1757	1794	37	2.11
55	2169	2147	22	1.01	127	1769	1792	23	1.30
56	2157	2148	9	0.42	128	1769	1797	28	1.58
57	2169	2135	34	1.57	129	1696	1678	18	1.06
58	2157	2133	24	1.11	130	1175	1184	9	0.77
59	2157	2133	24	1.11	131	703	689	14	1.99
60	2157	2135	22	1.02	132	96	91	5	5.21

TABEL IV  
PERBANDINGAN DENGAN WAKTU SAMPLING BERBEDA

Waktu (detik)	Kecepatan SS (rpm)	Observer (rpm)	Tegangan (V)	Arus (A)	Ts (data/s)	Waktu (detik)	(rpm) Observer	Tegangan (V)	Arus (A)	Ts (data/s)
0	0	28	0	0	20	10	610	2.69	0.78	100
0.05	436	435	3.07	0.03	20	10.01	610	2.69	0.78	100
0.1	436	435	3.07	0.03	20	10.02	610	2.69	0.78	100
0.15	436	435	3.07	0.03	20	10.03	608	2.7	0.77	100
0.2	436	435	3.07	0.03	20	10.04	608	2.7	0.77	100
0.25	436	436	3.1	0.02	20	10.05	608	2.7	0.77	100
0.3	436	436	3.1	0.02	20	10.06	608	2.7	0.77	100
0.35	436	436	3.1	0.02	20	10.07	611	2.7	0.78	100
0.4	436	436	3.1	0.02	20	10.08	611	2.7	0.78	100
0.45	496	481	2.09	0.61	20	10.09	611	2.7	0.78	100
0.5	496	481	2.09	0.61	20	20	828	3.59	1.12	100
40	1781	1795	13.3	0.14	20	20.01	828	3.59	1.12	100
40.05	1781	1795	13.3	0.14	20	20.02	806	5.49	0.22	100
40.1	1781	1799	13.35	0.13	20	20.03	806	5.49	0.22	100
40.15	1781	1799	13.35	0.13	20	20.04	806	5.49	0.22	100
40.2	1781	1799	13.35	0.13	20	20.05	806	5.49	0.22	100
40.25	1781	1799	13.35	0.13	20	20.06	842	3.65	1.14	100
40.3	1793	1785	11.91	0.71	20	20.07	842	3.65	1.14	100
40.35	1793	1785	11.91	0.71	20	20.08	842	3.65	1.14	100
0	#N/A	534	3.81	0.04	50	20.09	994	6.55	0.39	100
0.02	#N/A	534	3.81	0.04	50	30	994	6.55	0.39	100
0.04	#N/A	534	3.81	0.04	50	30.01	994	6.55	0.39	100
0.06	#N/A	534	3.83	0.03	50	30.02	994	6.55	0.39	100
0.08	#N/A	534	3.83	0.03	50	30.03	994	6.55	0.39	100
0.1	#N/A	534	3.83	0.03	50	30.04	999	6.84	0.28	100
0.12	#N/A	534	3.83	0.03	50	30.05	999	6.84	0.28	100
0.14	#N/A	540	3.6	0.15	50	30.06	999	6.84	0.28	100
0.16	#N/A	540	3.6	0.15	50	30.07	999	6.84	0.28	100
0.18	#N/A	540	3.6	0.15	50	30.08	1006	7.1	0.19	100
0.2	#N/A	540	3.6	0.15	50	30.09	1006	7.1	0.19	100
0.22	#N/A	544	2.39	0.69	50	40	1228	8.47	0.34	100
0.24	#N/A	540	3.6	0.15	50	40.01	1228	8.47	0.34	100
0.26	#N/A	540	3.6	0.15	50	40.02	1228	8.47	0.34	100
0.28	#N/A	544	2.39	0.69	50	40.03	1228	8.47	0.34	100
0.3	#N/A	544	2.39	0.69	50	40.04	1240	8.21	0.49	100
60	#N/A	1673	11.16	0.66	50	40.05	1240	8.21	0.49	100
60.02	#N/A	1673	11.16	0.66	50	40.06	1240	8.21	0.49	100
60.04	#N/A	1673	11.16	0.66	50	40.07	1240	8.21	0.49	100
60.06	#N/A	1673	11.16	0.66	50	40.08	1239	8.39	0.41	100
60.08	#N/A	1676	11.18	0.66	50	40.09	1239	8.39	0.41	100
60.1	#N/A	1676	11.18	0.66	50	50	2026	13.58	0.79	100
60.12	#N/A	1676	11.18	0.66	50	50.01	2026	13.58	0.79	100
60.14	#N/A	1676	11.18	0.66	50	50.02	2026	13.6	0.78	100
60.16	#N/A	1677	11.19	0.66	50	50.03	2026	13.6	0.78	100
60.18	#N/A	1677	11.19	0.66	50	50.04	2026	13.6	0.78	100
60.2	#N/A	1677	11.19	0.66	50	50.05	2026	13.6	0.78	100
60.22	#N/A	1677	11.19	0.66	50	50.06	2023	13.58	0.78	100
60.24	#N/A	1680	11.21	0.66	50	50.07	2023	13.58	0.78	100

IV. KESIMPULAN

Penelitian untuk mengembangkan *observer* kecepatan generator dengan memanfaatkan sensor tegangan dan arus keluaran generator telah dilakukan dan menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

- *Observer* dikembangkan dengan memanfaatkan sensor tegangan dan sensor arus yang sudah ditala sedemikian sehingga menghasilkan persen *error* yang kecil terhadap alat ukur standar. Persen *error* dari sensor tegangan adalah 0.44% dan persen *error* dari sensor tegangan adalah 0.49%.
- Persamaan *observer* dibangun dengan melakukan regresi linier dengan menggunakan data kecepatan hasil pembacaan sensor kecepatan berbasis rotary encoder dengan persen *error* rata-rata sebesar 0.57%. Regresi linier menghasilkan konstanta-konstanta persamaan *observer* yaitu;  $A_1 = 27.8645$ ,  $A_2 = 129.7505$  and  $A_3 = 298.8085$ .
- Pengujian untuk membandingkan hasil pembacaan *observer* dengan hasil pembacaan sensor kecepatan dengan waktu sampling 10 data/detik menghasilkan persen *error*

rata-rata 1.9% yang dianggap cukup memadai untuk sebuah sensor kecepatan.

- Percobaan untuk melihat kemampuan kecepatan pengambilan data dengan tingkat kecepatan sampling 20, 50 dan 100 data mengungkapkan bahwa *observer* mampu melakukan fungsi ini dengan baik, sedangkan sistem sensor dengan rotary encoder hanya mampu melakukan recording dengan waktu sampling 20 data/detik.

#### REFERENSI

- [1] C. Pan, L. Chen, L. Chen, H. Jiang, Z. Li, and S. Wang, "Research on motor rotational speed measurement in regenerative braking system of electric vehicle," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 66–67, pp. 829–839, Jan. 2016.
- [2] F. Briz, J. A. Cancelas, and A. Diez, "Speed measurement using rotary encoders for high performance AC drives," in *20th International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation, 1994. IECON '94*, 1994, vol. 1, pp. 538–542 vol.1.
- [3] C. Datasheet A3144, "A3144 Datasheet pdf - Sensitive Hall-Effect Switches, High-Temperature - Allegro Microsystems," *DatasheetCatalog.com*. [Online]. Available: [http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/A/3/1/4/A3144.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/A/3/1/4/A3144.shtml). [Accessed: 18-Aug-2015].
- [4] R. Arduino UNO, "A000066 Arduino | Mouser," *MOUSER ELECTRONICS*. [Online]. Available: <http://www.mouser.com/search/ProductDetail.aspx?Arduino>. [Accessed: 18-Aug-2015].
- [5] V. Kokaew, M. Moshrefi-Torbati, and S. M. Sharkh, "Maximum Efficiency or Power Tracking of Stand-alone Small Scale Compressed Air Energy Storage System," *Energy Procedia*, vol. 42, pp. 387–396, 2013.
- [6] "Spec List | Nisca Corporation." [Online]. Available: <http://www.nisca.co.jp/english/e-mos02.html>. [Accessed: 09-Aug-2015].
- [7] A. ACS712, "Allegro Microsystems - ACS712: Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor," *Allegro MicroSystem*. [Online]. Available: <http://www.allegromicro.com/en/Products/Current-Sensor-ICs/Zero-To-Fifty-Amp-Integrated-Conductor-Sensor-ICs/ACS712.aspx>. [Accessed: 18-Aug-2015].
- [8] Z. Keramat and R. Ildarabadi, "DC MOTOR SPEED MEASUREMENT BASED ON BRUSH EFFECTS," *Int. J. Tech. Phys. Probl. Eng.*, vol. vol. 6, no. issue 18, pp. pp. 77–81, Mar. 2014.
- [9] V. Kokaew, M. Moshrefi-Torbati, and S. M. Sharkh, "Simulation of a Solar Powered Air Compressor," in *10th International Conference on*, Rome, 2011, pp. 1–4.

