

Analisis Karakteristik Perangkat Keras Pengubah Frekuensi ke Tegangan untuk Pengukuran Kecepatan MASTS

Arif Sumardiono

Program Studi Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 45
Jl. Perjuangan No. 17 Cirebon, Indonesia
arif_elektro@yahoo.com

Abstrak

Makalah ini menjelaskan proses analisis karakteristik perangkat keras pengubah frekuensi ke tegangan pada Motor Arus Searah Tanpa Sikat (MASTS) untuk proses pengukuran kecepatan motor tersebut. Sensor yang digunakan pada MASTS adalah sensor *hall* dengan input perubahan medan magnet dan output frekuensi. Penelitian ini bertujuan untuk menguji kelayakan perangkat keras tersebut jika digunakan untuk mengukur kecepatan MASTS. Kriteria pengujian yang digunakan yaitu sensitifitas, akurasi, kepresisian dan histeresis. Hasil pengujian menunjukkan dengan input frekuensi dari AF Generator sebagai sumber ideal didapatkan sensitifitas 0,0096 V/Hz, akurasi 99,8%, kepresisian 99,81 %, dan histeresis dengan galat 0,02%, sedangkan hasil pengukuran dengan input frekuensi dari sensor *hall* MASTS didapatkan sensitifitas 0,0095 V/Hz, akurasi 99,6%, kepresisian 99,6%, dan histeresis dengan galat 0,4%.

Kata kunci: MASTS, sensor *hall*, frekuensi, tegangan, kecepatan

Abstract

This paper describes the analytical process of characteristics a frequency to voltage hardware converter on Brushless Direct Current Motor (BLDC) for motor's speed measurement. The sensor used on this motor is hall sensor with the input is magnetic field changes and the output is a frequency. This study aims to test the feasibility of this hardware to be used for speed measurement. Sensors characteristics that tested are sensitivity, accuracy, precision and hysteresis. The test results shows that, the input frequency from AF Generator as an ideal frequency obtained sensitivity by 0.0096 V/Hz, accuracy 99.8%, precision 99.81%, and hysteresis with error by 0.02%, while the measurement results with input from hall sensor obtained sensitivity by 0.0095 V/Hz, accuracy 99.6%, precision 99.6% and hysteresis with error by 0.4%.

Keywords: BLDC, hall sensor, frequency, voltage, speed

I. PENDAHULUAN

Motor Arus Searah Tanpa Sikat (MASTS) merupakan salah satu jenis motor listrik yang menggunakan metode komutasi untuk mengerakannya. Sensor yang digunakan untuk mengukur kecepatan MASTS salah satunya adalah sensor *hall*. Cara kerja dari sensor yaitu mendeteksi perubahan medan magnet ketika MASTS bergerak. Tanpa adanya sistem sensor yang baik maka tidak akan diketahui berapa kecepatan putaran MASTS sebenarnya. Motor magnet tanpa sikat dari eksitasinya dapat dioperasikan dalam tiga kondisi, yaitu sebagai motor AC sinkron dan motor *stepper*. Motor magnet permanen tiga fasa dapat dikondisikan sebagai MASTS. Pengoperasian sebagai motor MASTS diperlukan saat motor

berada saat kecepatan menengah yang sering berubah-ubah. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan perangkat keras pengubah frekuensi ke tegangan pada MASTS dan melakukan analisis karakteristik perangkat keras tersebut.

Sistem sensor yang digunakan dalam mengukur kecepatan MASTS sangat berpengaruh terhadap penggunaan motor MASTS. Tanpa adanya sistem sensor kecepatan tidak dapat diketahui berapa kecepatan putaran motor yang digunakan. Perangkat keras pengubah frekuensi ke tegangan (F to V) digunakan untuk pembacaan sensor *hall* pada motor MASTS. Penggunaan F to V pada penelitian ini dimaksudkan untuk menguji coba apakah menggunakan F to V dapat meningkatkan serta mempermudah pengukuran kecepatan MASTS.

II. PERANGKAT KERAS

A. MASTS

MASTS sangat populer digunakan di dunia industri,omotif (Gambar 1). MASTS lebih handal dan dapat digunakan dalam kondisi lingkungan terburuk dibandingkan dengan motor yang menggunakan sikat. Kontrol pada MASTS dikategorikan menjadi tiga jenis yaitu: beban konstan, beban variasi, dan aplikasi *positioning* [1].

MASTS menggunakan bahan semikonduktor untuk merubah maupun membalik arah putaran untuk menggerakkan motor, serta tingkat kebisingan motor jenis ini rendah karena putarannya halus. MASTS memiliki biaya perawatan yang lebih rendah dan kecepatan yang lebih tinggi akibat tidak digunakannya sikat [2]. Jika dibandingkan dengan motor induksi, MASTS memiliki efisiensi yang lebih tinggi karena rotor terbuat dari magnet permanen [3].

Untuk mendapatkan torsi dan kecepatan yang konstan, diperlukan tiga buah sensor *hall*. Pada sensor *hall*, *timing* komutasi ditentukan dengan cara mendeteksi medan magnet rotor dengan menggunakan tiga buah sensor *hall* untuk mendapatkan enam kombinasi *timing* yang berbeda [4]. Beberapa keuntungan MASTS dibandingkan dengan motor DC biasa, adalah:

1. Lebih tahan lama, karena tidak memerlukan perawatan terhadap sikatnya
2. Memiliki tingkat efisiensi yang tinggi
3. Torsi awal yang tinggi
4. Kecepatan yang tinggi, tergantung pada kekuatan medan magnet yang dihasilkan oleh arus yang dibangkitkan dari kendali penggeraknya

Walaupun MASTS memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan motor DC biasa, pengendalian MASTS lebih rumit untuk mengatur kecepatan dan torsi motor.



Gambar 1. MASTS dilengkapi dengan roda

B. Sensor Hall

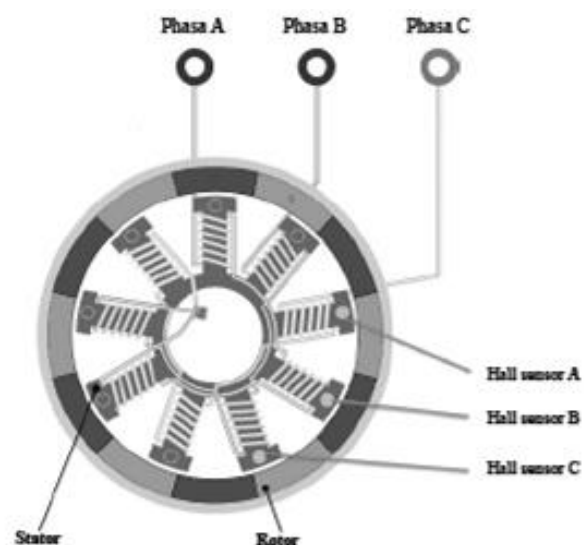
Untuk estimasi posisi rotor, motor ini dilengkapi dengan tiga sensor *hall* yang ditempatkan setiap 120° [5]. Dengan sensor ini ada enam komutasi yang mungkin berbeda (Gambar 2). Penelitian ini menggunakan komutasi dua fasa seperti Tabel 1.

C. Arduino Uno

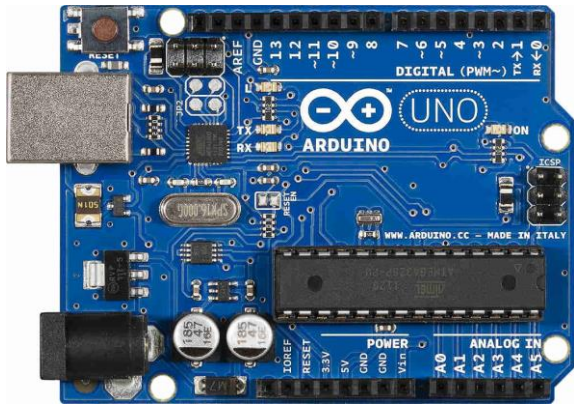
Arduino adalah sebuah *platform* elektronika *open source* yang memiliki fleksibilitas, serta mudah dalam menggunakan perangkat keras dan perangkat lunaknya. Arduino Uno (Gambar 3) merupakan papan mikrokontroler yang menggunakan Atmega328 sebagai jenis mikrokontrolernya. Arduino Uno memiliki 14 pin *digital input* dan *output*, 6 pin *input analog*, 16 MHz *ceramic resonator*, sebuah koneksi *Universal Serial Bus* (USB), sebuah *Power Jack*, sebuah *ICSP header*, dan tombol *reset*. Semua ini diperlukan untuk mendukung mikrokontroler, agar dengan mudah dapat terhubung ke sebuah komputer dengan kabel USB atau tegangan DC dengan menggunakan adapter atau baterai untuk menjalankannya.

Tabel 1. Komutasi pensaklaran 2 fasa

Hall Sensor	Fasa terminal			kombinasi (2 fasa)
	K	B	H	
100	+	NC	-	010010
101	NC	+	-	000110
001	-	+	NC	100100
011	-	NC	+	100001
010	NC	-	+	001001
110	+	NC	+	011000



Gambar 2. Ilustrasi konstruksi MASTS dengan sensor *hall*

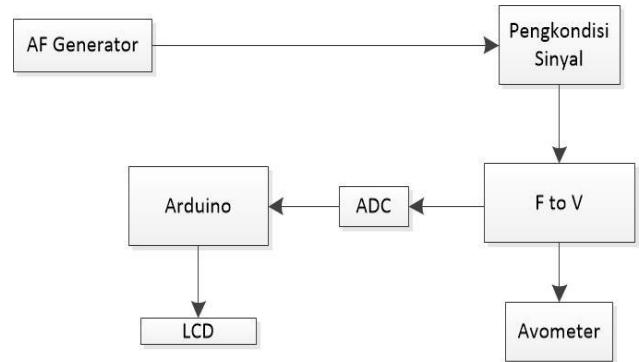


Gambar 3. Papan Arduino Uno

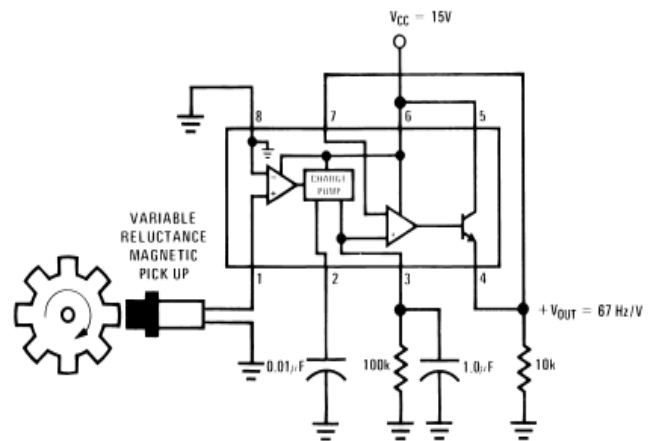
III. PERANCANGAN SISTEM

Pada paper ini, dilakukan penelitian hanya pada pengujian frekuensi ke tegangan untuk pembacaan kecepatan motor MASTS dengan input frekuensi dari MASTS dan keluaran dalam bentuk tegangan serta nilai ADC. Pengujian dilakukan dengan dua percobaan pada perangkat keras pengubah frekuensi ke tegangan, yaitu percobaan pertama menggunakan input frekuensi dari *Analog Function Generator* (AFG) seperti Gambar 4 dan percobaan kedua menggunakan input frekuensi keluaran dari sensor *hall* MASTS seperti Gambar 6.

Sensor yang digunakan untuk mengukur kecepatan yaitu sensor *hall* dengan keluaran frekuensi berbentuk gelombang pulsa. Untuk mendapatkan data kecepatan motor MASTS, maka keluaran frekuensi pulsa dari sensor hall dikonversi ke tegangan 0-5V. Konversi frekuensi ke tegangan dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian

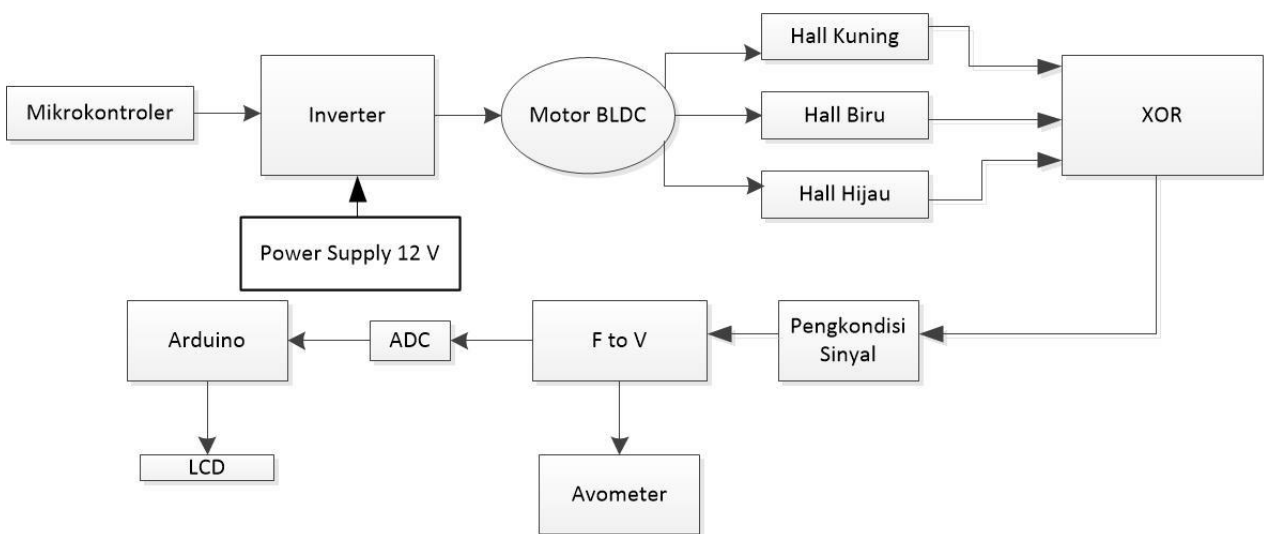


Gambar 4. Sistem pembacaan pengubah frekuensi ke tegangan menggunakan input frekuensi dari AFG

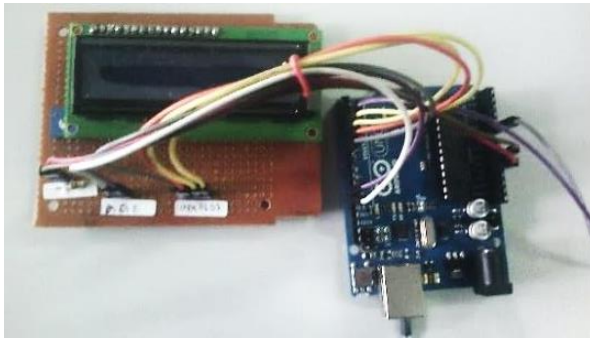


Gambar 5. Rangkaian konverter frekuensi ke tegangan (LM2907 datasheet)

konverter frekuensi ke tegangan. Pada perancangan ini, rangkaian frekuensi ke tegangan yang digunakan adalah IC LM2907 dengan skematik rangkaian seperti Gambar 5.



Gambar 5. Sistem pembacaan pengubah frekuensi ke tegangan menggunakan input frekuensi keluaran dari sensor *hall* MASTS



Gambar 7. Diplay pengukuran LCD JD16

Frekuensi input dikonversi menjadi tegangan DC. Kemudian dalam setengah siklus dari frekuensi input, perubahan muatan terhadap waktu pada kapasitor sama dengan:

$$\Delta Q = C \times \frac{V_{cc}}{2} \quad (1)$$

dimana ΔQ adalah perubahan muatan, C adalah kapasitansi, dan V_{cc} adalah tegangan catu daya. Seperti diketahui bahwa besarnya arus yang dikeluarkan kapasitor dalam satuan waktu adalah:

$$I_c = \frac{\Delta Q}{T} \quad (2)$$

dimana I_c adalah arus kapasitor dan T adalah waktu. Berdasarkan kedua persamaan tersebut, maka diperoleh:

$$I_c = C \times \frac{V_{cc}}{2} \times (2f_{in}) = C \times V_{cc} \times f_{in} \quad (3)$$

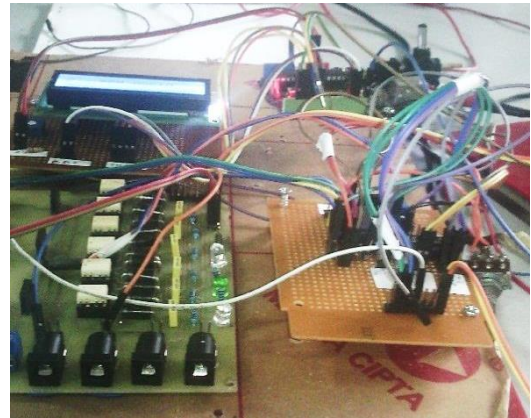
sehingga jika I_c dirubah menjadi tegangan keluaran (V_{out}) maka diperoleh:

$$V_{out} = V_{cc} \times f_{in} \times C \times R \quad (4)$$

dimana:

- V_{out} = tegangan keluaran yang dihasilkan (V)
- V_{cc} = tegangan catu daya IC LM2907 (V)
- f_{in} = frekuensi input (Hz)
- C = nilai kapasitor pada kaki 2 (Farad)
- R = nilai resistor pada kaki 3 (Ohm)

Agar diperoleh keluaran tegangan 0-5V maka harus ditentukan terlebih dahulu nilai R dan C . Pada perancangan ini terlebih dahulu ditentukan *range* frekuensi kerja dari MASTS. *Range* frekuensi diperoleh dengan cara mengukur frekuensi maksimum dan minimum. Nilai R dihitung menggunakan rumus (4) dengan V_{out} dan V_{cc} sebesar 5V, f_{in} maksimum 520 Hz, dan C dengan nilai 0,01 μ F. Berdasarkan (4), maka digunakan resistor dengan nilai 49 k Ω . Pada perancangan ini juga digunakan sebuah LCD JD16 sebagai *display* pengukuran kecepatan MASTS (Gambar 7 dan Gambar 8).



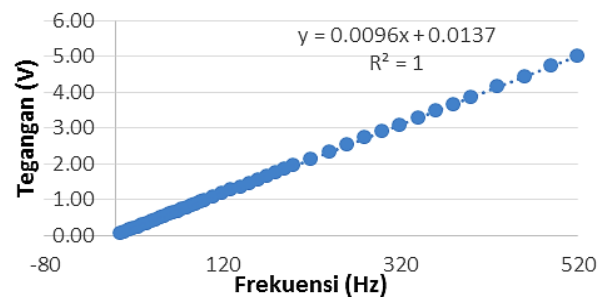
Gambar 8. Driver motor dan perangkat keras F to V

Pada mikrokontroler, tegangan yang masuk dikonversi terlebih dahulu menjadi data digital. Pin analog input Arduino Uno dapat menerima nilai hingga 10 bit sehingga dapat mengkonversi data analog 5V menjadi data digital 1023. Artinya nilai 0 mempresentasikan tegangan 0 Volt dan nilai 1023 mempresentasikan tegangan 5 Volt.

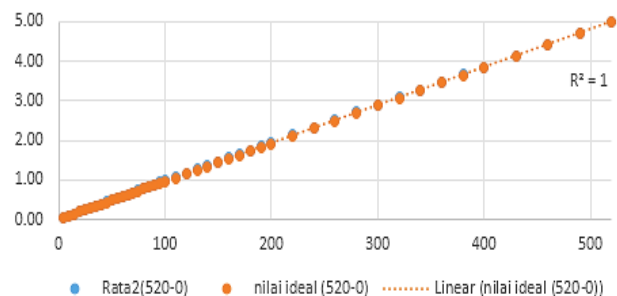
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Input Frekuensi dari AFG

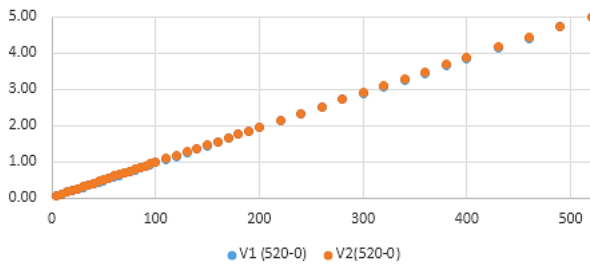
Pengujian pertama pengubah frekuensi ke tegangan yaitu menggunakan frekuensi input dari AFG. Pada pengukuran ini diuji karakteristik pengukurannya yaitu dalam bentuk sensitifitas, akurasi, kepresisian dan histeresis. Hasil pengukuran tersaji pada Gambar 9-Gambar 12.



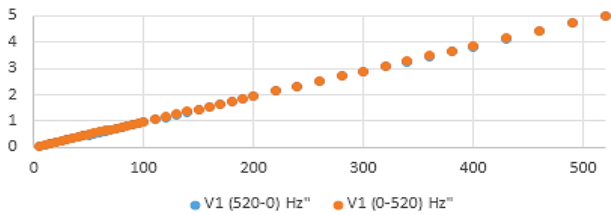
Gambar 9. Sensitifitas tegangan keluaran dengan input frekuensi dari AFG



Gambar 10. Akurasi tegangan keluaran dengan input frekuensi dari AFG



Gambar 11. Kepresisian tegangan keluaran dengan input frekuensi dari AFG



Gambar 12. Histerisis tegangan keluaran dengan input frekuensi dari AFG

Fungsi transfer dari grafik pada Gambar 9 menunjukkan bahwa sistem ini mengkonversi setiap perubahan frekuensi 1 Hz menjadi perubahan tegangan sebesar 0,0096 V. Jadi sensitifitas pembacaan pengubah frekuensi ke tegangan dengan inut frekuensi AFG adalah 0,0096 V/Hz dan kegelincirannya adalah 0,0137 V.

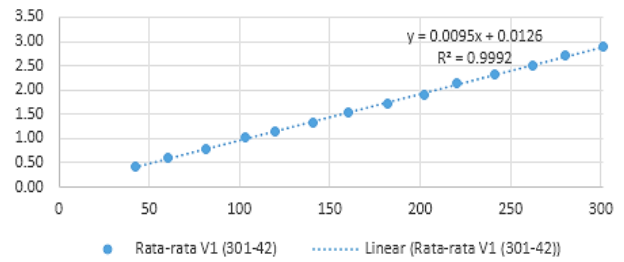
Dapat dilihat juga pada Gambar 10 grafik rata-rata hasil pengukuran mendekati grafik rata-rata pengukuran ideal dengan rata-rata *error* 0,01, sehingga akurasi dapat dikatakan sangat tinggi yaitu 99,8 %.

Hasil pengukuran kepresisian yang dilihat dari Gambar 11 menunjukkan bahwa pengukuran pertama (V1) dan pengukuran kedua (V2) terlihat mendekati sama. Dari pengukuran kepresisian tersebut didapatkan rata-rata *error* 0,013 V (0,26 %) atau tingkat kepresisiannya 99,81%.

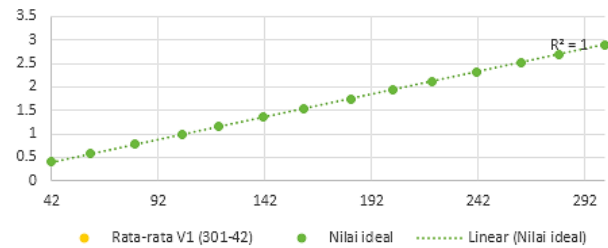
Histerisis tegangan berdasarkan Gambar 12 dapat dilihat baik pengukuran dari frekuensi tinggi ke rendah maupun dari frekuensi rendah ke tinggi didapatkan hasil yang mendekati sama. Nilai galat rata-rata yang didapat yaitu sebesar 0,01V (0,2%).

B. Input Frekuensi dari Sensor Hall MASTS

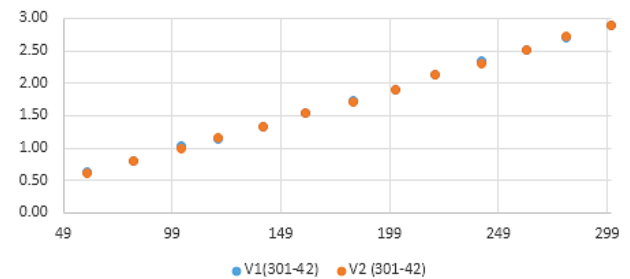
Pengujian kedua pada pengubah frekuensi ke tegangan yaitu menggunakan frekuensi input dari keluaran sensor *hall* MASTS. Sama halnya dengan pengujian dengan input frekuensi dari AFG, pada pengujian ini juga dilakukan terhadap karakteristik sensitifitas, akurasi, kepresisian dan histerisis. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 13-Gambar 16.



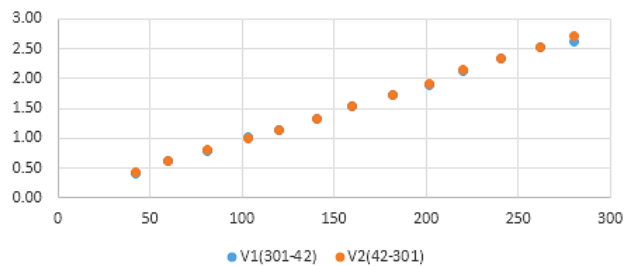
Gambar 13. Sensitifitas tegangan keluaran dengan input frekuensi dari sensor hall MASTS



Gambar 14. Akurasi tegangan keluaran dengan input frekuensi dari sensor hall MASTS



Gambar 15. Kepresisian tegangan keluaran dengan input frekuensi dari sensor hall MASTS



Gambar 16. Histerisis tegangan keluaran dengan input frekuensi dari sensor hall MASTS

Fungsi transfer pada Gambar 13 menginformasikan bahwa perangkat ini mengkonversi setiap perubahan frekuensi 1 Hz menjadi perubahan tegangan sebesar 0,0095V. Jadi sensitifitasnya adalah 0,0095 V/Hz dan kegelincirannya adalah 0,0137.

Dapat dilihat pada Gambar 14 grafik rata-rata hasil pengukuran mendekati grafik rata-rata pengukuran ideal dengan rata-rata *error* 0,02 (0,4%), sehingga akurasi dapat dikatakan sangat tinggi yaitu 99,6 %.

Hasil pengukuran kepresisian yang dilihat dari Gambar 15 bahwa pengukuran pertama (V1) dan pengukuran kedua (V2) terlihat mendekati sama. Dari pengukuran kepresisian tegangan didapatkan rata-rata *error* 0,02 (0,4%) atau tingkat kepresisiannya 99,6 %.

Dalam Gambar 16 diatas dapat dilihat baik pengukuran dari frekuensi tinggi ke rendah maupun dari frekuensi rendah ke tinggi didapatkan hasil yang mendekati sama dan grafik terlihat naik berurut dari frekuensi rendah ke tinggi. Nilai galat rata-rata yang didapat yaitu sebesar 0,02 (0,4 %).

V. KESIMPULAN

Perangkat keras pengubah frekuensi ke tegangan telah berhasil diimplementasikan pada MASTS. Pengujian perangkat tersebut dilakukan untuk mengetahui karakteristik sensitifitas, akurasi, kepresisian dan histerisis. Hasil pengujian menunjukkan dengan input frekuensi dari AF Generator sebagai sumber ideal didapatkan sensitifitas 0,0096 V/Hz, akurasi 99,8%, kepresisian 99,81%, dan histeresis dengan galat 0,02%, sedangkan hasil pengukuran dengan input frekuensi dari sensor *hall* MASTS didapatkan sensitifitas 0,0095 V/Hz, akurasi 99,6%, kepresisian 99,6%, dan histeresis dengan galat 0,4%. Hasil analisis menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan karakteristik yang signifikan antara input dari AFG

sebagai pembangkit frekuensi ideal dan dari sensor *hall* MASTS. Dengan karakteristik tersebut, perangkat ini dapat dijadikan sebagai konverter frekuensi ke tegangan pada MASTS yang dapat membantu mempermudah pengukuran kecepatan MASTS.

REFERENSI

- [1] R. Hosen, K. Salim, "Design Implementation and Testing of a Three Phase BLDC Motor Controller", *International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE)*, vol. 1, pp. 192-196, 2013
- [2] S. Tsotoulidis and A. Safacas, "Side-effects of Hall Sensors Misplacement", *International Conference on Electrical Machines (ICEM)*, pp. 1825-1830, 2014
- [3] Suhendi, "Perancangan dan Implementasi Rangkaian Catu Daya Motor Arus Searah Tanpa Sikat dengan Kombinasi Pensaklaran", Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung, 2012
- [4] A. Tashakori and M. Ektesabi, "A Simple Fault Tolerant Control System for Hall Effect Sensor Failure of BLDC Motor", *8th IEEE International Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, pp. 1011-1016, 2013
- [5] T. Dewanto, "Perancangan dan Impelementasi Sistem Kendali Kecepatan Motor Arus Searah tanpa Sikat dengan Pengaturan Duty cycle Pensaklaran Menggunakan Pengendali PI", Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung, 2012