

Kontrol Motor Brushless DC (BLDC) Berbasis Algoritme AI-PID

Denny Irawan¹, Pressa Perdana SS¹

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik
Jl. Sumatera No.101 Gresik 61121 Indonesia
E-mail: den2mas@umg.ac.id, pressa@umg.ac.id

ABSTRAK

Abstrak - Popularitas motor DC brushless (BLDC) semakin meningkat karena memiliki kepadatan energy yang tinggi, biaya pembuatan bahan magnet permanen seperti Samarium Cobalt (Sm-Co) dan Nd-Fe-B yang semakin murah dan kemajuan dalam desain inovasi semakin efisien. Kelebihan motor BLDC yang memberikan respons lebih cepat, membutuhkan pengontrol untuk pengaturan kecepatan yang cepat dan akurat. Kontroler PID yang telah banyak digunakan dalam peralatan kontrol industri dapat diandalkan dengan menyetel oleh algoritme AI untuk menentukan Kp, Ki dan Kd. Dalam penelitian ini, motor BLDC akan dikontrol kecepatan menggunakan algoritme Artificial Intelligence (AI) untuk tuning PID, yang dijalankan dengan mikrokontroler STM 32 F4 Discovery. Popularitas motor DC brushless (BLDC) semakin meningkat karena memiliki kepadatan energi yang tinggi, biaya pembuatan bahan magnet permanen seperti Samarium Cobalt (Sm-Co) dan Nd-Fe-B yang semakin murah dan kemajuan dalam desain inovasi semakin efisien. Kelebihan motor BLDC yang memberikan respons lebih cepat, membutuhkan pengontrol untuk pengaturan kecepatan yang cepat dan akurat. Kontroler PID yang telah banyak digunakan dalam peralatan kontrol industri dapat diandalkan dengan menyetel oleh algoritme AI untuk menentukan Kp, Ki dan Kd. Dalam penelitian ini, motor BLDC akan dikontrol kecepatan menggunakan algoritme Artificial Intelligence (AI) untuk tuning PID, yang dijalankan dengan mikrokontroler STM 32 F4 Discovery.

Kata kunci: Kecerdasan Buatan, kontroler, Proportional-Integral-Derivative (PID), Motor BLDC

Copyright © 2019 Universitas Muhammadiyah Jember.

1. PENDAHULUAN

Motor BLDC sudah banyak digunakan di industri seperti industri otomotif, konsumsi, kesehatan, otomasi industri dan instrumentasi. Mesin penggerak bertenaga elektrik yang populer adalah motor arus searah tanpa sikat (motor BLDC), karena memiliki kelebihan dibanding dengan jenis mesin penggerak bertenaga elektrik lainnya, seperti tanggapan lebih cepat, umur pakai lebih lama, dan mempunyai rentang kecepatan yang lebar dibandingkan dengan motor induksi [1]. Kelebihan lain motor BLDC adalah 13% lebih efisien dari motor induksi, ukurannya 40% lebih kecil dari pada motor DC konvensional, karena tidak memiliki sikat, maka kecil atau tidak ada perawatan, menghasilkan sedikit suara dan *electrical noise* dari pada motor DC konvensional [2]. Pengendalian kecepatan motor BLDC perlu dilakukan agar respon kecepatan yang dihasilkan sesuai dengan yang diharapkan. Tanpa pengaturan kecepatan motor maka respon kecepatan yang didapatkan masih kurang baik. Ada beberapa metode yang dapat digunakan dalam pengendalian Motor BLDC, salah satunya yaitu dengan penggunaan kendali Proporsional-Integral-Derivatif (PID). Kendali PID merupakan kendali yang banyak digunakan dalam proses kontrol di industri. Hal ini dikarenakan kendali PID sangat efektif, implementasinya sederhana, dan luas penggunaannya. Akan tetapi, kendali PID memerlukan penalaan yang akurat untuk menentukan nilai konstanta yang digunakan. Keberhasilan pengendali PID tergantung ketepatan dalam menentukan konstanta PID [2].

2. KAJIAN PUSTAKA

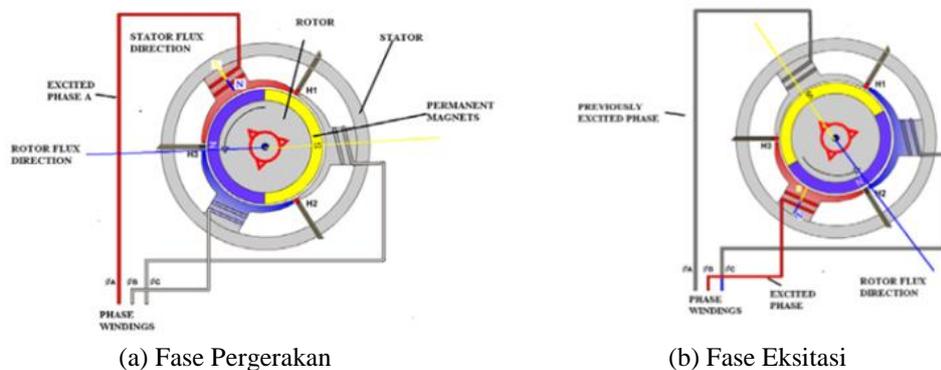
2.1. Motor Brushless DC (BLDC)

Motor BLDC adalah jenis motor sinkron 3 fase yang medan magnetnya dihasilkan oleh stator dan rotor yang berputar pada frekuensi yang sama. Motor jenis ini mempunyai magnet permanen pada bagian rotor, sedangkan elektromagnet-nya berada pada bagian stator-nya. Setelah itu, dengan menggunakan sebuah rangkaian sederhana, maka kita dapat mengubah arus di elektromagnet-nya ketika bagian rotor-nya berputar. Sesuai dengan namanya, Motor BLDC tidak menggunakan sikat atau brush untuk pergantian medan magnet (komutator), melainkan menggunakan komutator

elektronik. Motor BLDC mempunyai banyak keuntungan dibandingkan dengan motor DC dan Motor induksi biasa.

2.2. Prinsip Kerja Motor BLDC

Hal yang paling dasar pada medan magnet adalah kutub yang sama akan saling tolak menolak, sedangkan apabila berlainan kutub akan Tarik menarik. Jika ada dua buah magnet dan menandai satu sisi magnet tersebut dengan north (utara) dan yang lainnya south (selatan), maka bagian sisi north akan menarik south, sebaliknya sisi north magnet pertama akan menolak sisi north yang kedua dan seterusnya apabila kedua sisi magnet mempunyai kutub yang sama. Prinsip mengenai kutub magnet tersebut dapat diterapkan dalam prinsip kerja motor BLDC. Secara umum motor BLDC memiliki medan magnet permanen pada rotor dan magnet yang berasal dari gaya elektromagnet (magnet yang ditimbulkan dari pemberian input arus listrik) pada bagian kumparan stator. Pada motor BLDC, kontroler berfungsi untuk mengatur arus masukan yang harus dialirkan ke kumparan stator untuk dapat menimbulkan medan elektromagnet yang sesuai untuk memutar rotor. Hal inilah yang menjadi pembeda dengan motor DC konvensional, dan menggantikan kerja komutasi mekanisnya. Magnet permanen pada motor BLDC dilengkapi dengan kumparan tiga fase. Kumparan-kumparan tersebut terletak di bagian stator. Magnet bergerak terletak di stator. Fase kumparan diaktifkan dengan menyesuaikan gerakan rotor. Rotasi berbasis medan magnet diilustrasikan pada Gambar 1 (a) dan Gambar 1 (b) menjelaskan pergerakan dan eksitasi fase. Pada Gambar 2.1 (a) fase A dieksitasi, fluks stator dihasilkan oleh eksitasi fase A, fluks rotor dihasilkan oleh magnet permanen.



Gambar 1. Heart Rate Sensor

2.3. Mikrokontroler STM32F4 Discovery

Mikrokontroler STM32F4 Discovery adalah salah satu jenis prosesor ARM. Periferal STM32F407 Discovery terdapat disekitar prosesor mikrokontroler STM32F407VGT6 dalam paket 100-pin LQFP. Gambar 2 menunjukkan koneksi STM32F407VGT6 dengan peripheral yaitu STLINK/V2, tombol tekan, LED, Audio DAC, USB, ST MEMS accelerometer, ST MEMS mikrofon, dan konektor [5].



Gambar 2. Board Mikrokontroler STM32F4 Discovery

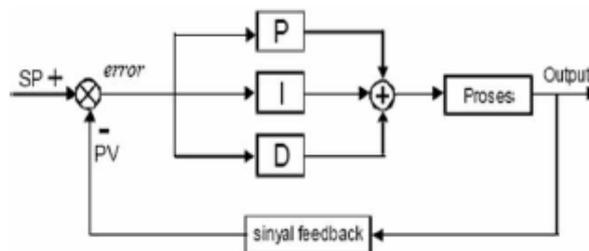
2.4. Swarm Intelligence

Sifat sifat dari Swarm Intelligence diantaranya [8]:

1. Terdiri dari banyak individu.
2. Individu yang relatif bersifat homogen.
3. Interaksi antar individu didasari dari aturan perilaku sederhana yang memanfaatkan informasi lokal baik secara langsung atau melalui lingkungannya. Kemampuan setiap individu melakukan interaksi dengan sesama individu maupun dengan lingkungannya dalam swarm intelligence disebut dengan self organizes. Ini menunjukkan bahwa setiap individu dapat mengatur dirinya sendiri. Kemampuan setiap individu melakukan interaksi dengan sesama individu maupun dengan lingkungannya dalam swarm intelligence disebut dengan self-organizes. Ini menunjukkan bahwa setiap individu dapat mengatur dirinya sendiri.

2.5. PID

Kontroler PID (*Proportional-Integral-Derivative Controller*) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem. Kontroler PID adalah kontroler konvensional yang banyak dipakai dalam dunia industri. Kontroler PID akan memberikan aksi kontrol kepada *plant* berdasarkan besar kesalahan yang diperoleh. Kesalahan adalah perbedaan dari *set point* dengan *output* sistem pengaturan. Ilustrasi rancangan kontroler *Proportional, Integral, Derivative* (PID) yang digunakan pada *plant* motor BLDC dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur Kontroler PID [9]

Adapun persamaan kontroler PID nya adalah:

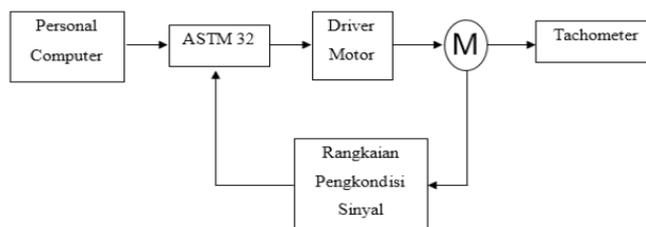
$$mv(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (1)$$

Dimana:

- mv(t) : *manipulated variable*
- Kp : *konstanta proportional*
- Ti : *time integral*
- Td : *time derivative*
- e(t) : *error*

3. METODE PENELITIAN

Pada bagian ini akan dibahas mengenai perencanaan dan pembuatan sub sistem. diagram blok dari sistem secara keseluruhan adalah seperti ditunjukkan pada gambar 4 berikut.



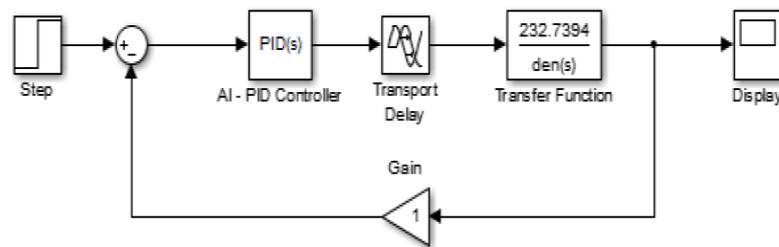
Gambar 4. Blok Diagram Sistem

Dari struktur sistem di atas dapat dilihat bahwa sistem ini terdiri atas beberapa bagian, diantaranya adalah:

1. Personal Computer
2. ASTM 32
3. Driver Motor
4. Motor BLDC
5. Tachometer (pengukur kecepatan)
6. Rangkaian Pengkondisi Sinyal

3.1. Pemodelan BLDC

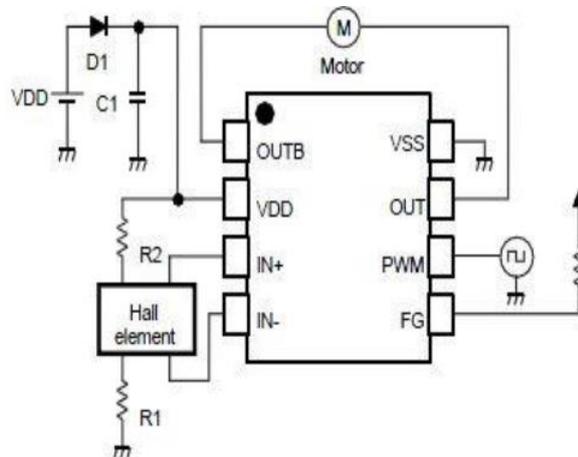
Perancangan dan pemodelan sistem menggunakan kontroler AI-PID menggunakan software MATLAB pada PC untuk mendapatkan konstanta PID (K_p , K_i , K_d) dan programming pada microcontroller ASTM 32. Pemodelan sistem yang mewakili motor BLDC dengan kontroler PID dapat dijelaskan seperti gambar 5 berikut:



Gambar 5. Pemodelan BLDC

3.2. Driver Motor

Selain *microcontroller* ASTM 32, diperlukan rangkaian *driver* motor untuk sesuai dengan spesifikasi motor BLDC yang digunakan. *Driver* motor yang digunakan adalah NJU7365 yang melekat pada motor.



Gambar 6. Driver Motor BLDC

3.3. Motor BLDC

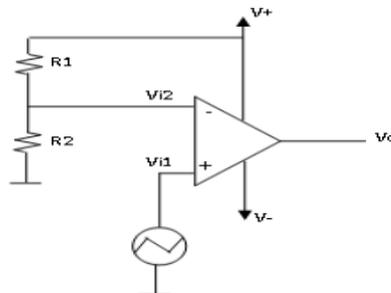
Spesifikasi motor BLDC dapat dilihat pada table berikut ini.

Tabel 1. Spesifikasi motor BLDC [11]

Type	INPUT			OUTPUT			Size (mm)	Characteristic
	DC or AC	Current (A)	Voltage (V)	Output (W)	Rotating Speed (min-1)	Torque (mN · m)		
Brushless DC motor Outer roter 	DC	-	24	30	2500	114.6	∅61.4x32	
		~6	21.6~26.4	25~34	600~3000	95.5~129.9		

3.4. Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Komparator (modulator lebar pulsa), yaitu rangkaian sinyal gergaji atau segitiga untuk sinyal pembanding output dan input berupa selisih kecepatan.



Gambar 7. Rangkaian Komparator

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kontroler PID

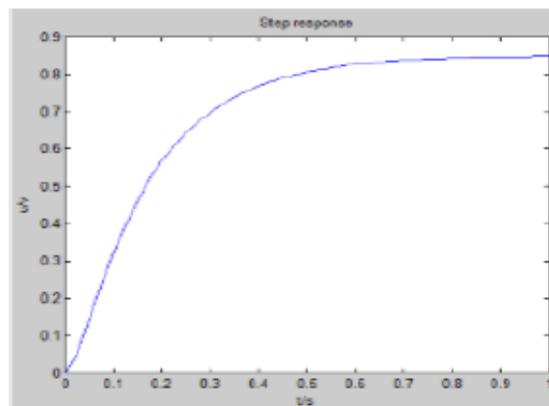
Salah satu algoritma *swarm optimization* yaitu *firefly* digunakan untuk tuning kontroler PID untuk mendapatkan respon output yang optimal. Hasil running didapatkan untuk konstanta-konstanta kontroler PID sebagai berikut:

$$K_p = 0.1212$$

$$K_i = 0.0397$$

$$K_d = 0.0139$$

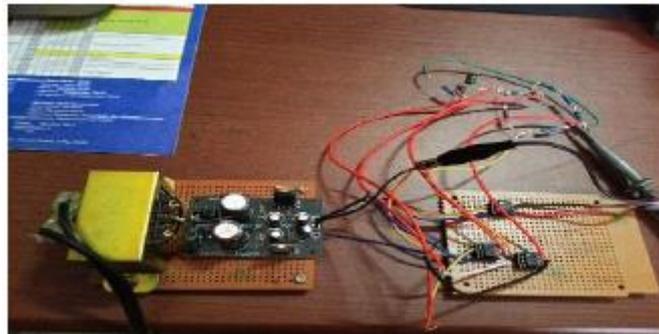
Step response dari kontroler PID yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada gambar 8 berikut ini.



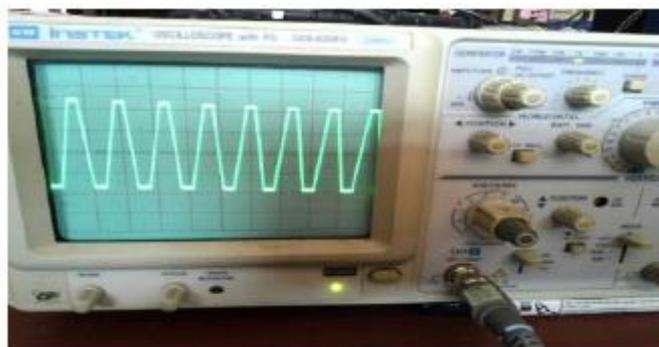
Gambar 8. Step Response Kontroler PID

4.2. Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Rangkaian pengkondisi sinyal menggunakan Op-Amp (IC 741) dengan output sinyal segitiga pada input yang satu, dan akan dibandingkan dengan sinyal dc pada input lainnya yang digunakan sebagai *sensing*. Rangkaian dan sinyal dari rangkaian komparator seperti yang ditunjukkan pada gambar 9 dan 10.



Gambar 9. Rangkaian Komparator

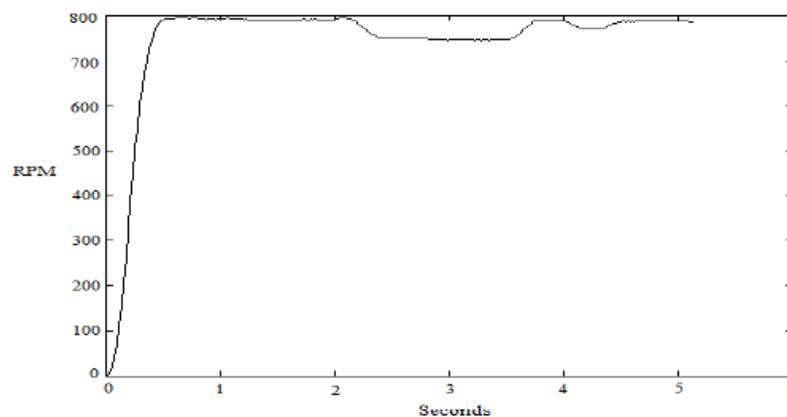


Gambar 10. Sinyal Output Komparator

4.3. Pengujian Motor BLDC

4.3.1. Pengujian *Open Loop*

Pengujian *Open Loop* berarti motor berputar pada kecepatan nominal tanpa beban, kemudian dibebani untuk mengetahui penurunan kecepatannya. Hasil pengujian seperti ditunjukkan pada gambar 11.

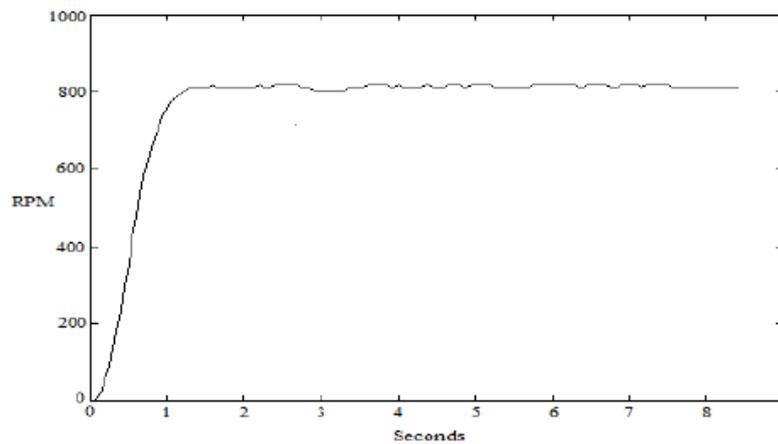


Gambar 11. Pengujian *Open Loop*

Motor *start* mulai $t = 0$ dan mencapai kecepatan nominal 800 rpm pada $t = 0,5$ detik dan berputar pada kecepatan tersebut sampai $t = 2,2$ detik dan kecepatan motor turun sampai 750 rpm. Motor kembali berputar pada kecepatan nominal ketika beban dilepas pada $t = 3,6$ detik.

4.3.2. Pengujian *Close Loop*

Pengujian *Close Loop* melibatkan kontroler yang menjaga motor berputar pada kecepatan nominal ketika ada gangguan atau beban. Hasil pengujian seperti ditunjukkan pada gambar 12.



Gambar 12. Pengujian *Close Loop*

Motor dibebani mulai $t = 2,7$ detik ketika kecepatan motor menurun menjadi 780 rpm dan kontroler bekerja meng-*update* tegangan DC melalui PWM sesuai yang dibutuhkan motor untuk tetap berputar pada kecepatan nominal.

Dari data pengujian Gambar 11 diatas juga dapat diamati respon transient motor BLDC yang dikontrol dengan menggunakan kontroller AI – PID untuk kecepatan 800 rpm dan parameter respon transient dari hasil pengamatan adalah sebagai berikut.

Tabel 2. Parameter Respon Transient BLDC Motor dengan Sistem Kendali AI - PID pada Kecepatan 800 rpm

Tipe Kontrol	Referensi (rpm)	Parameter					
		T_d (s)	T_r (s)	T_P (s)	T_s (s)	M_p (%)	Ess (%)
AI-PID	800	0.104	0.28	0.354	0.34	2.1	1.3

Berdasarkan tabel 2 dapat dilihat bahwa pengontrolan kecepatan dari motor BLDC menggunakan AI - PID memiliki respon waktu untuk waktu tunda (t_d), waktu naik (t_r), waktu puncak (t_p) dan waktu penetapan (t_s) yang cukup lama, namun pada lewatan maksimum (M_p) dan *error steady state* (Ess) pengontrolan kecepatan motor BLDC menggunakan kontrol AI - PID memiliki nilai presentasi yang kecil.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan dan pengujian alat dari kontrol kecepatan motor BLDC menggunakan AI-PID, kontroler tersebut dapat merespon dengan cepat adanya gangguan dan kemudian memberikan aksi agar motor BLDC tetap berputar pada kecepatan nominalnya.

REFERENSI

- [1] Arulmozhiyal, R and Kandiban, 2012, An Intelligent Speed Controller for Brushless DC Motor, Industrial Electronics an Applications (ICIEA), 7th IEEE Convergence. DOI:10.1109/ICIEA.2012.6360690 pp:16-21.
- [2] Kristiyono, Roedy, 2015, Sistem Kendali Kecepatan Motor BLDC Menggunakan Algoritma Hybrid PID-FUZZY etd. Repository UGM.
- [3] Xia, Chang Liang, 2012, Permanent Magnet Brushless DC Motor Drives and Controls, John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd, Singapore.
- [4] R. Shemanske, Electronic Motor Braking, IEEE Trans. On Industry, vol. IA, no. 19, pp. 824-831, 1983.
- [5] STM F4 Discovery Handbook.
- [6] Gerard Dreyfus, 2005, Neural Networks, Methodology and Applications. Springer.
- [7] Bhim Singh and Sanjeev Singh, 2009, State of the Art on Permanent Magnet Brushless DC Motor Drives, Journal of Power Electronics, Vol. 9, No. 1, January 2009.
- [8] Swarm Optimization Journal.
- [9] Permana, Putra Eka, PID (Proportional-Integral-Derivative) Controller, <URL: <https://putraekapermana.wordpress.com/2013/11/21/pid/>>, November, 2013.
- [10] Tri Wahyu Kurniawan, 2016, Desain of Neural Network-PID controller for Speed Control of Brushless DC Motor”, Tugas Akhir, ITS.
- [11] www.nidec.com.

BIOGRAFI PENULIS

	<p>Denny Irawan merupakan seorang pengajar di lingkungan Program Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Gresik dengan bidang penelitian konversi energi.</p>
	<p>Pressa Perdana SS merupakan seorang pengajar di lingkungan Program Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Gresik.</p>