

PENGARUH VARIASI MASUKAN TANGGA DAN PEMBEBANAN TERHADAP PROFIL ARUS PADA MEKANISME *SOFT STARTING* MASTS

Fakih Irsyadi, Iyas Munawar
Laboratorium Kendali dan Sistem Komputer, Sekolah Tinggi Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung, Indonesia
fakih_irsyadi@yahoo.com

Abstrak

Mekanisme *soft starting* merupakan salah satu solusi untuk mengatasi lonjakan arus besar yang terjadi saat motor listrik mulai bergerak. Salah satu permasalahan yang disebabkan lonjakan arus yang berlebihan adalah terbakarnya komponen rangkaian pensaklaran jika tidak diantisipasi dengan baik. Pada penelitian ini akan dilakukan implementasi mekanisme *soft starting* pada pengoperasian motor arus searah tanpa sikat (MASTS) yang dilakukan dengan cara memberikan masukan berupa sinyal tangga PWM. Pengujian dilakukan dengan melihat profil arus MASTS untuk beberapa variasi, yaitu tinggi anak tangga, waktu tunda antar anak tangga, dan beban mekanik yang diberikan dengan merubah resistansi resistor pada terminal motor arus searah (MAS). Hasil percobaan menunjukkan bahwa penerapan mekanisme *soft starting* dapat meredam lonjakan arus awal yang berlebihan saat MASTS mulai bergerak. Semakin rendah masukan ketinggian anak tangga yang diberikan, semakin rendah pula lonjakan arus yang terjadi ketika MASTS mulai bergerak. Penambahan waktu tunda antar anak tangga mengakibatkan penurunan nilai maksimum lonjakan arus saat MASTS mulai bergerak. Ketika waktu tunda yang diberikan lebih besar daripada waktu transien yang dibutuhkan MASTS untuk setiap langkahnya, penambahan tersebut tidak akan menurunkan lonjakan arus tetapi hanya akan memperlama waktu transien MASTS. Untuk beberapa variasi beban, semakin besar torsi beban yang diberikan pada MASTS, semakin tinggi pula arus awal yang dibutuhkan untuk mencapai waktu transien yang sama.

Kata kunci: Mekanisme *Soft starting*, Motor Arus Searah tanpa Sikat (MASTS), Efek Pembebanan MASTS.

Abstract

Soft starting mechanism is one of the solution to handle large starting current inrush. One of the problems caused by excessive starting current inrush is the switching components being burned if not anticipated well. This research will be implementing soft starting mechanism for BLDC motor operation that is done by providing PWM ladder's input signal. The test is conducted by observing current MASTS's profile for some variations i.e ladder's height, ladder's time delay, and mechanical load given through various resistance mounted on terminal direct current motor. The experiment's result shows that the implementation of soft starting mechanism is able to reduce excessive starting current inrush. The lower input of ladder's height, the lower also starting current inrush. The addition of ladder's time delay can decrease the maximum value of starting current inrush. When the ladder's time delay is greater than MASTS'S transient time for each step, that addition will not reduce the current inrush, but only lengthen the transient time. For some various mechanical load, the greater torque load given to MASTS, the higher starting current needed to reach the same transient time.

Keywords: Soft starting mechanism, Brushless DC (BLDC) Motor, different load condition.

1. PENDAHULUAN

Pada berbagai bidang teknologi, khususnya bidang transportasi dan automasi, penggunaan motor arus searah tanpa sikat (MASTS) sebagai penggerak sangatlah marak[8]. Konstruksi yang sederhana, efisiensi tinggi serta biaya perawatan yang rendah menjadi pertimbangan beberapa utama dalam pemakaian motor ini. Biaya perawatan yang rendah disebabkan karena tidak adanya sikat (*brush*) pada MASTS. Pemberian komutasi dilakukan secara elektrik dengan bantuan rangkaian *driver* (*inverter*)[9].

Salah satu kendala dalam menjalankan motor listrik secara umum adalah adanya lonjakan arus yang terjadi ketika motor mulai bergerak. Hal ini disebabkan karena ketika motor masih diam, nilai bmf-nya sama dengan nol, daya motor hanya terdesipasi pada resistor yang nilai resistansi setiap fasanya sangat kecil. Dengan tegangan masukan yang tinggi, akan terjadi lonjakan arus yang tinggi[6]. Lonjakan arus yang tinggi dapat membahayakan perangkat keras, meningkatkan spesifikasi komponen pensaklaran dan meningkatkan biaya pembuatan sirkuit. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah penerapan metode *soft starting* pada pengoperasian MASTS, yaitu mekanisme pemberian sinyal masukan perlahan naik hingga sampai dengan nilai *set point* yang telah ditentukan[5]. Pada Penelitian ini mekanisme *soft starting* diterapkan dengan memberikan masukan tangga tegangan (PWM) kepada MASTS.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perubahan tinggi anak tangga *input*, perubahan waktu tunda antar anak tangga serta efek pembebanan terhadap profil arus masukan MASTS. Sehingga dapat diketahui profil masukan yang sesuai untuk mencapai performansi yang diinginkan untuk setiap beban yang diberikan.

2. METODOLOGI

2.1. Pemodelan Matematis MASTS serta Permasalahan pada saat *starting*

Pada bagian ini akan dijabarkan tentang pemodelan matematis dan karakteristik MASTS yang diambil dari buku "*Permanent Magnet Motor Technology*" karangan dari buku Jacek F Gieras dan Mitchell Wing (2002). Secara umum persamaan tegangan sesaat pada terminal MASTS untuk setiap fasa dapat dituliskan sebagai berikut:

$$v_1 = e_f + R_1 i_a + L_s \frac{di_a}{dt} \quad (1)$$

Dimana e_f merupakan *back-EMF* (Volt) untuk setiap fasa, R_1 merupakan resistansi setiap fasa, i_a arus masukan motor setiap fasa dan L_s merupakan induktansi sinkron pada setiap fasa dimana terdiri dari induktansi *armature* dan mutual induktansi dari fasa lain.

Pada dijelaskan untuk MASTS dengan struktur koneksi Y dan *inaccessible neutral point*, tegangan masukan motor merupakan tegangan antara dua buah fasa yang terhubung secara seri untuk setiap kombinasi komutasi yang selanjutnya disebut operasi gelombang penuh. Maka persamaan tegangan sesaat pada terminal MASTS dapat ditulis sebagai berikut:

$$v_1 = (e_{fA} - e_{fB}) + 2R_1 i_a + 2L_s \frac{di_a}{dt} \quad (2)$$

Dimana $e_{fA} - e_{fB} = e_{fAB}$ adalah *line to line EMF* (tegangan balik antara 2 fasa yang terhubung) yang secara umum dinotasikan dengan e_{fL-L} . Nilai bmf dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$e_{fL-L} = c_E \phi_f \omega = k_E \omega \quad (3)$$

Dimana $k_E = c_E \phi_f$ merupakan konstanta *EMF* dan ω merupakan kecepatan putar MASTS (rad/s). Sehingga terlihat bahwa nilai bmf berbanding lurus dengan nilai kecepatan putar MASTS. Dengan mengasumsikan bahwa komponen pensaklaran ideal, $v_1 = V_{dc}$ dimana V_{dc} merupakan tegangan masukan inverter dan mengabaikan nilai induktansi fasa, maka persamaan arus maksimum sesaatnya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$i_a(t) = \frac{V_{dc} - e_{fL-L}}{2R_1} \quad (4)$$

Dari persamaan (4) terlihat bahwa ketika MASTS dalam keadaan diam atau sesaat sebelum bergerak, akan terjadi lonjakan arus fasa yang besar ketika terjadi perubahan tegangan masukan yang besar. Besarnya torsi yang dihasilkan oleh MASTS berbanding lurus dengan arus masukan MASTS. Hubungan antara torsi dengan arus MASTS untuk setiap fasa dapat dilihat dari persamaan berikut:

$$T_a = c_{Tdc} \phi_f I_a = k_{Tdc} I_a \quad (5)$$

Dimana k_{Tdc} merupakan konstanta torsi. Dari [4][5] didapat persamaan mekanik MASTS sebagai berikut:

$$T_m - T_i = J \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m \quad (6)$$

Dimana T_m merupakan total torsi MASTS yang merupakan akumulasi dari torsi setiap fasa, J merupakan momen inersia, B merupakan konstanta viskositas, ω_m kecepatan putar rotor dalam rad/s dan T_i merupakan torsi beban. Persamaan (6) menunjukkan bahwa semakin besar arus MASTS pada saat *start*, semakin cepat waktu transien yang dibutuhkan oleh MASTS untuk mencapai kecepatan tunaknya. Sehingga ketika terjadiperedaman lonjakan arus *start* MASTS akan memperlambat waktu transiennya.

2.2. Soft Starting Strategy

Pada dasarnya, mekanisme *soft starting* pada motor listrik adalah pemberian masukan secara perlahan naik hingga mencapai nilai referensi yang diberikan [5]. Tujuan mekanisme *soft starting* adalah untuk mencegah lonjakan arus yang berlebihan pada saat motor listrik mulai bergerak. Dari persamaan (4) terlihat bahwa ketika MASTS mulai bergerak, dalam keadaan diam, nilai bmf (θ_{fL-L}) sama dengan nol.

Maka persamaan arus *start* MASTS untuk masing-masing fasa dapat dituliskan sebagai berikut:

$$i_{st(a)}(t) = \frac{V_{dc}}{2R_1} \quad (7)$$

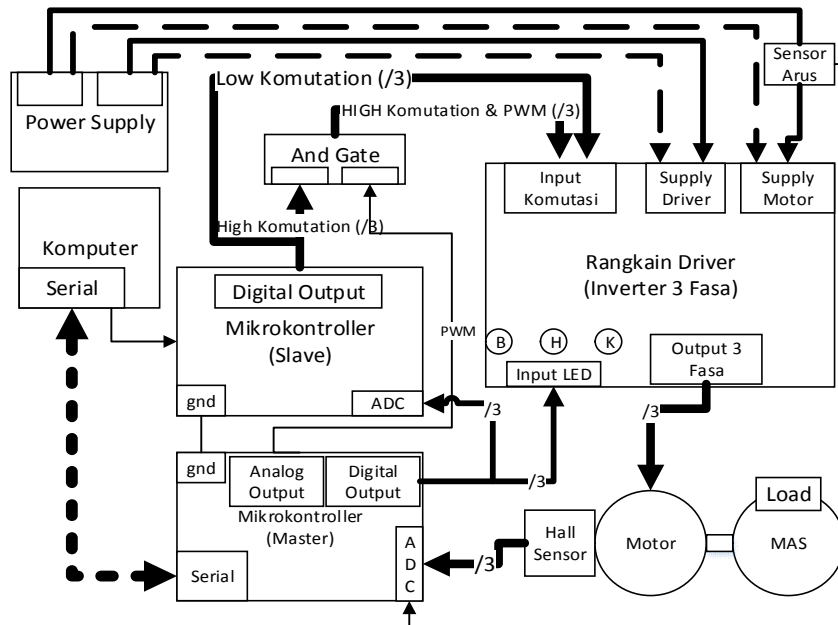
Mengingat hambatan fasa pada MASTS yang kecil dan tegangan masukan besar, maka terdapat lonjakan arus yang tinggi pada saat MASTS mulai bergerak. Lonjakan arus yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan pada rangkaian inverter dan MASTS ketika tidak ditangani dengan baik. Salah satu cara yang dapat digunakan adalah penerapan mekanisme *soft starting* pada pengoperasian MASTS. Pada kondisi diam, tegangan masukan bertambah secara perlahan hingga MASTS mulai bergerak. Hal ini menyebabkan arus secara perlahan naik seiring dengan kenaikan tegangan masukan MASTS. Sehingga lonjakan arus berlebihan pada saat MASTS mulai bergerak dapat diminimalisasi.

Salah satu cara yang dilakukan untuk menerapkan mekanisme *soft starting* adalah dengan memberikan sinyal masukan yang berbentuk tangga. Tegangan masukan naik secara bertahap dengan ketinggian kenaikan (anak tangga) dan waktu tunda antar anak tangga yang bisa diatur untuk menghasilkan performansi sistem yang diinginkan.

2.3. Desain Perangkat Percobaan

Perangkat percobaan terdiri dari komputer yang digunakan untuk memberikan masukan referensi serta monitoring variabel-variabel yang diukur. Catu daya yang digunakan adalah dua kanal *power supply* arus searah yang berfungsi untuk menyuplai daya ke MASTS, komponen-komponen inverter dan sensor secara terpisah. Sedangkan untuk catu daya mikrokontroler didapat melalui kabel serial yang terhubung dengan komputer. Rangkaian driver pada dasarnya adalah rangkaian inverter 3 fasa, yaitu rangkaian yang berfungsi untuk merubah sumber tegangan arus searah menjadi sinyal arus bolak-balik yang dapat digunakan untuk menggerakkan MASTS [7][11][12]. Pada penelitian ini dilakukan penyempurnaan rangkaian driver yang telah dirancang pada penelitian sebelumnya [1]. Pengembangan yang cukup signifikan adalah penggunaan *IC driver MOSFET* yang memungkinkan ketiga pasang MOSFET dapat dikendalikan dengan satu buah catu daya [3]. Sehingga dapat mengurangi jumlah catu daya yang digunakan oleh rangkaian inverter. Selain digunakan untuk mengetahui posisi rotor, yang bertujuan untuk menentukan kombinasi komutasi yang diberikan ke MASTS, pada penelitian ini sensor Hall juga digunakan untuk menghitung kecepatan putar MASTS. Sistem menggunakan dua buah pengendali (mikrokontroler) yang dikondisikan sebagai *master* dan *slave*. Pengendali *slave* berfungsi untuk memberikan kombinasi komutasi kepada rangkaian *driver* berdasarkan kombinasi sensor Hall (posisi rotor) yang dibaca. Pengendali *master* berfungsi untuk akuisisi data yang didapat dari sensor arus dan sensor Hall. Selain itu, pengendali *master* juga digunakan untuk menghasilkan sinyal PWM yang digunakan untuk mengatur kecepatan putar MASTS. Sinyal pwm yang dihasilkan oleh pengendali *master* digabungkan dengan sinyal komutasi dengan menggunakan *IC logic gate* and [2]. *Duty cycle* pwm dapat

diatur secara langsung saat pengukuran dari komputer melalui komunikasi serial. Berikut diagram blok perangkat percobaan secara utuh:

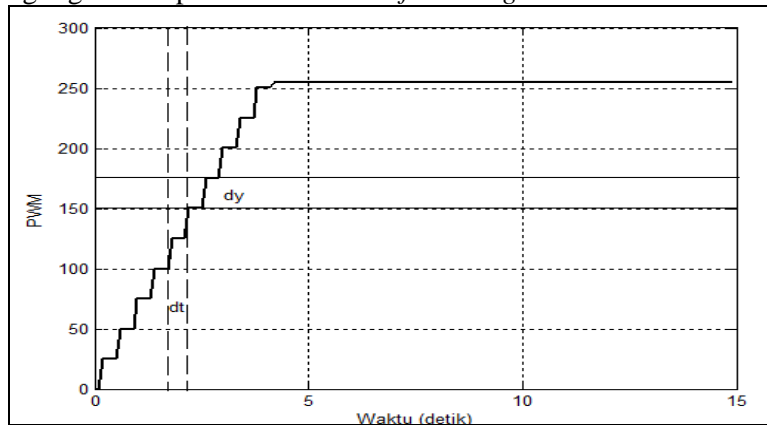


Gambar 2-1. Konfigurasi Perangkat Percobaan Secara Utuh.

2.4. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan perangkat percobaan yang telah dirancang pada bagian sebelumnya. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, catu daya pada sistem menggunakan perangkat *power supply* yang telah dilengkapi dengan pembatas arus sehingga lonjakan arus bisa dibatasi sehingga tidak merusak perangkat percobaan. Pembebanan dilakukan secara mekanik dengan mengopel MASTS dengan MAS (Motor Arus Searah). Variasi beban diberikan dengan merubah nilai resistansi resistor yang dipasang pada terminal MAS. Variasi tegangan diberikan dengan merubah 8 bit *duty cycle* PWM pada sumber tegangan 12 volt.

Pada penelitian ini ada empat buah pengujian yang akan dilakukan. Pertama adalah pengujian sistem tanpa menggunakan mekanisme *soft starting*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui performansi MASTS, lonjakan arus maksimum MASTS dan menguji kinerja perangkat percobaan yang telah dibuat. Kedua adalah pengujian sistem dengan menerapkan mekanisme *soft starting*. Penerapan mekanisme *soft starting* dilakukan dengan memberikan masukan tangga PWM pada MASTS. Berikut merupakan sinyal masukan MASTS yang digunakan pada mekanisme *soft starting*:



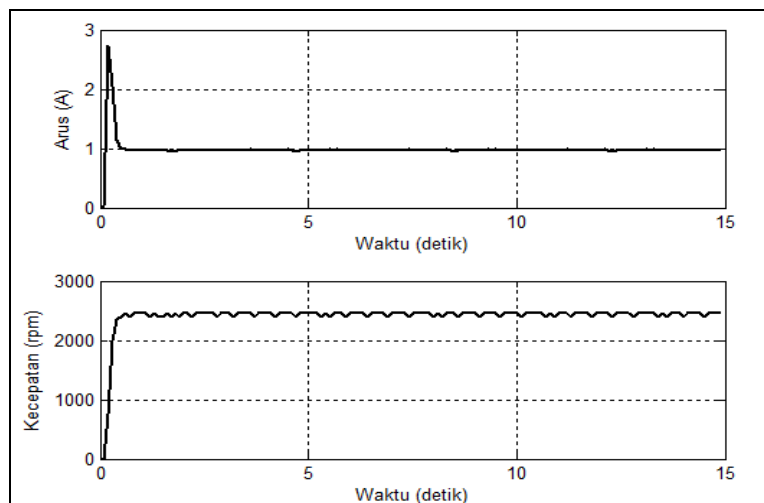
Gambar 2-2. Sinyal Masukan Tangga pada Mekanisme *Soft Starting*.

Terdapat dua buah variabel yang dapat dirubah untuk mendapatkan performansi sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Pada penelitian ini akan dilakukan pengamatan variasi nilai kenaikan anak tangga(dy) atau kenaikan $duty\ cycle$ PWM dan variasi waktu tunda antar anak tangga(dt) terhadap profil arus MASTS. Selain itu, pada penelitian ini dilakukan pengamatan efek pembebanan MASTS terhadap profil arus MASTS.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Respon Loop Terbuka Sistem tanpa Mekanisme Soft Starting

Pada bagian ini akan dilakukan pengujian sistem tanpa menggunakan mekanisme *soft starting*. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan masukan langkah maksimum 12 V (PWM 255) melalui serial komunikasi yang bertujuan untuk meminimalisasi waktu transien sinyal masukan sehingga akan didapat profil arus MASTS pada operasi normal. Secara teori, dari persamaan (5), maksimum lonjakan arus sesaat sebelum MASTS mulai bergerak adalah sebesar 6.45 A. Perhitungan tersebut didasarkan atas perhitungan tegangan terminal MASTS 12 V, tegangan bmf 0 V dan hasil pengukuran nilai resistansi setiap fasa 0,93 Ohm.



Gambar 3-1. Profil Arus MASTS Sistem Tanpa Soft Starting.

Gambar (3-1) menunjukkan profil arus hasil pengujian saat diberikan masukan langkah 12 V. Arus maksimum yang terbaca oleh sensor arus sekitar 2.7 A atau sama dengan batas arus maksimum yang telah diatur pada pembatas arus *power supply*. Dari grafik respon sistem diatas menunjukkan bahwa sistem membutuhkan waktu sekitar 0.6 detik untuk mencapai kecepatan tunaknya. Dari pengujian ini terlihat bahwa adanya lonjakan arus yang tinggi sesaat sebelum MASTS mulai bergerak. Lonjakan arus ini tentu saja akan merusak sistem ketika tidak tangani dengan tepat.

3.2. Pengamatan Pengaruh Tinggi Anak Tangga Masukan MASTS

Pada bagian ini akan dilakukan pengamatan tentang pengaruh tinggi anak tangga terhadap profil arus masukan MASTS. Pengujian dilakukan dengan memberikan beberapa variasi tinggi anak tangga mulai nilai kenaikan rendah hingga nilai kenaikan tinggi. Nilai kenaikan dibuat tetap hingga mencapai nilai referensi yang telah diberikan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui profil arus serta lonjakan maksimum arus pada setiap nilai tinggi anak tangga. Pada penelitian ini beban dibuat tetap dan tanpa penambahan resistor pada terminal MAS serta menggunakan waktu tunda antar *input* anak tangga sebesar 0.1 detik. Berikut hasil pengukuran profil arus dan dinamika perubahan kecepatan MASTS untuk beberapa variasi tinggi anak tangga.

Table 3-1. Profil Arus dan Respon MASTS untuk Setiap Variasi Tinggi Anak Tangga

Tinggi Anak Tangga (PWM)	Arus Maksimum (Amphere)	Arus Tunak (Amphere)	Waktu Transien (detik)	Lonjakan Arus (%)
2	0.65	0.62	13.3	4.8
5	0.68	0.61	5.5	11.5
10	0.75	0.62	3	20.9
25	0.98	0.61	1.5	60.6
50	1.36	0.62	1.2	119.3
75	1.55	0.62	0.9	150
100	1.60	0.62	0.8	158.0
Normal (255)	2.75	0.62	0.6	343.5

Dari hasil percobaan diatas terlihat bahwa semakin tinggi anak tangga maka semakin tinggi pula lonjakan arus yang terjadi pada MASTS. Lonjakan arus dapat diredam hingga kurang dari 5% ketika ketinggian anak tangga masukan bernilai 2 PWM atau sekitar 0.1 Volt. Tetapi hal tersebut berdampak pada lamanya waktu transien yang dibutuhkan oleh MASTS untuk mencapai kecepatannya. Hal tersebut dikarenakan untuk mencapai referensi diperlukan 128 langkah dan setiap langkahnya memiliki jeda waktu 0.1 detik. Tinggi anak tangga dapat dinaikkan untuk mempercepat waktu transien MASTS dengan tetap memperhatikan nilai maksimum lonjakan arus agar tidak melebihi rating perangkat yang digunakan.

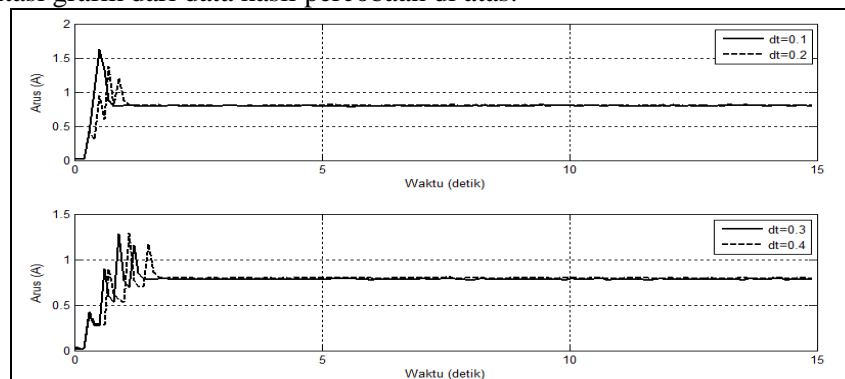
3.3. Pengamatan Pengaruh Waktu Tunda antar Anak Tangga Masukan MASTS

Pada bagian ini akan dilakukan pengamatan pengaruh panjang waktu tunda antar anak tangga masukan MASTS. Pengujian dilakukan dengan bervariasi panjang waktu tunda untuk tinggi anak tangga masukan dan beban mekanik yang tetap dan telah ditentukan sebelumnya. Waktu tunda minimal yang dapat diberikan ke MASTS sebesar 0.1 detik atau sama dengan *time sampling* yang digunakan oleh sistem. Selanjutnya akan diujikan beberapa variasi nilai waktu tunda antar anak tangga untuk nilai beban resistansi 400 ohm dan tinggi anak tangga PWM 75 atau sekitar 3.5 Volt. Berikut data hasil percobaan variasi waktu tunda antar anak tangga.

Table 3-2. Data Profil Arus untuk Setiap Variasi Nilai Waktu Tunda

Waktu Tunda (detik)	Arus Maksimum (Amphere)	Arus Tunak (Amphere)	Waktu Transien (detik)	Lonjakan Arus (%)
0.1	1.64	0.8	0.9	105
0.2	1.43	0.8	2.6	78.8
0.3	1.29	0.8	4.5	49
0.4	1.29	0.8	7.2	49

Berikut representasi grafik dari data hasil percobaan di atas:

**Gambar 3-2. Perbandingan Profil Arus MASTS untuk Variasi Waktu Tunda.**

Ketika waktu tunda antar anak tangga bernilai dua kali *time sampling* dari sistem atau 0.2 detik, terjadi penurunan nilai lonjakan arus maksimum sekitar 0.3 ampere. Hal ini disebabkan karena pemberian waktu tunda antar anak tangga bertujuan untuk memberikan waktu transisi nilai bmf untuk mencapai nilai tunaknya. Semakin besar nilai bmf (mendekati nilai tunaknya) arus akan mengecil mendekati nilai tunaknya. Sehingga ketika MASTS diberikan masukan berikutnya, kenaikan arus MASTS dimulai dari kondisi arus tunak atau lebih rendah dari nilai maksimum lonjakan arus akibat masukan sebelumnya.

Ketika waktu tunda dinaikkan hingga mencapai nilai 0.4 detik, terjadi kejenuhan terhadap penambahan waktu tunda antar masukan anak tangga terhadap penurunan nilai lonjakan arus MASTS. Pada percobaan ini MASTS hanya membutuhkan waktu 0.3 detik untuk mencapai arus tunak pada setiap masukan (langkah) yang diberikan. Sehingga pemberian waktu jeda masukan anak tangga diatas 0.3 detik tidak akan menyebabkan penurunan maksimum lonjakan arus tetapi justru hanya memperlambat waktu transien dari MASTS.

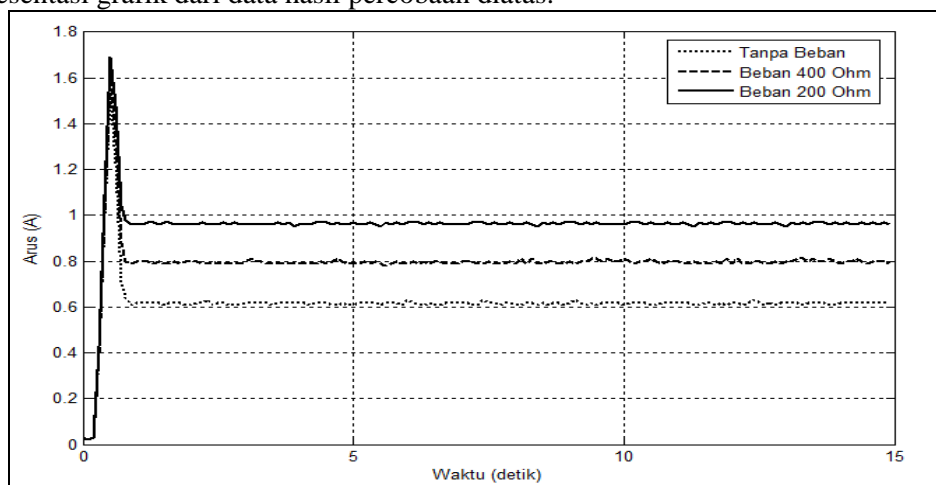
3.4. Pengamatan Efek Pembebanan pada MASTS

Pengamatan yang terakhir dalam penelitian ini adalah pengamatan mengenai efek pembebanan pada MASTS terhadap profil arus masukan MASTS. Pembebanan MASTS dilakukan secara mekanik dengan mengopel *shaft* MASTS dengan motor arus searah (MAS). Pengujian ini dilakukan dengan memvariasikan resistansi resistor yang dipasang pada terminal motor beban (MAS). Semakin rendah resistansi resistor pada terminal MAS, akan menghasilkan torsi beban yang semakin besar. Pengujian ini dilakukan pada suatu kondisi masukan tangga dengan spesifikasi yang telah ditentukan yaitu tinggi anak tangga nilai PWM 75 atau sekitar 3.5 volt dan waktu tunda antar anak tangga 0.1 detik. Hasil penelitian dapat dilihat dari grafik berikut:

Table 3-3. Data Profil Arus MASTS untuk Setiap nilai Resistansi yang Diberikan pada Beban

Resistansi pada beban (Ohm)	Arus Maksimum (Ampere)	Arus Tunak (Ampere)	Waktu Transien (detik)	Lonjakan Arus (%)
Tanpa Resistor	1.54	0.62	0.9	148
400	1.64	0.8	0.9	105
200	1.7	0.96	0.9	77.3

Berikut representasi grafik dari data hasil percobaan diatas:



Gambar 3-3. Perbandingan Profil Arus MASTS untuk Beberapa Variasi Beban.

Grafik diatas menunjukkan bahwa semakin besar torsi beban yang diberikan pada MASTS, semakin besar pula lonjakan arus yang terjadi pada arus masukan MASTS. Pada percobaan ini, untuk perubahan beban senilai 200 ohm, terjadi perubahan nilai lonjakan arus dan nilai arus tunaknya sebesar 0,18 ampere untuk menghasilkan waktu transien sistem yang sama. Hal ini sesuai dengan yang telah

ditulis pada persamaan (6), untuk mendapatkan percepatan yang sama pada beban yang mempunyai torsi lebih tinggi dibutuhkan nilai arus yang lebih tinggi. Hasil percobaan ini menunjukkan bahwa perlunya penyesuaian profil masukan MASTS untuk setiap beban agar sistem dapat bekerja sesuai dengan performansi yang diinginkan.

4. KESIMPULAN

Mekanisme *soft starting* telah dirancang dan berhasil diimplementasikan pada pengoperasian MASTS. Sesuai dengan hasil percobaan, penerapan mekanisme *soft starting* dapat meredam lonjakan arus awal yang berlebihan pada MASTS. Semakin rendah ketinggian masukan anak tangga yang diberikan, semakin rendah pula lonjakan arus yang terjadi ketika MASTS mulai bergerak. Penambahan waktu tunda mengakibatkan penurunan nilai maksimum lonjakan arus saat MASTS mulai bergerak. Ketika waktu tunda yang diberikan lebih besar daripada waktu transien yang dibutuhkan MASTS untuk setiap langkahnya, penambahan tersebut tidak akan menurunkan lonjakan arus tetapi hanya akan memperlama waktu transien MASTS. Untuk beberapa variasi beban, semakin tinggi torsi beban yang diberikan pada MASTS, semakin tinggi pula arus *start* yang dibutuhkan untuk mencapai waktu transien yang sama. Sehingga mekanisme *soft starting* yang telah dirancang pada penelitian ini perlu dikembangkan menjadi suatu mekanisme dengan struktur umpan balik berbasis metode pengendalian yang telah ada. Dengan demikian, sistem dapat mencapai profil arus optimal untuk setiap nilai beban yang diberikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar besarnya kepada Dr. Ir. Iyas Munawar, M.sc selaku pembimbing dan penulis kedua sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar dan menghasilkan sesuatu kontribusi penelitian dalam lingkup institusi maupun bangsa secara luas.

PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi menjadi tanggungjawab penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Fitriadi, Riky, 2015, *Perancangan dan Implementasi Sistem Penggerak dan Kendali Kecepatan Motor BLDC dengan Pengaturan PWM Berbasis Logika Fuzzy*, Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung, Bandung
- 2) Zhao, Jian dan Yangwei Yu, 2014, *Brushless DC Motor Fundamentals Application Note*, Monolithic Power System, San Jose
- 3) Tahmid, *Using the TLP250 Isolated MOSFET Driver*, <http://tahmidmc.blogspot.co.id>, diakses Juni 2015
- 4) Mathew, Tony dan Caroline Ann Sam, 2013, *Modeling and Closed Loop Control of BLDC Motor Using a Single Current Sensor*, IJAREEIE, Vol.2, Issue 6, PP.2525
- 5) Kan, Kai-Sheng dan Ying-Yu Tzou, 2012, *Adaptive Soft Starting Method with Current Limit Strategy for Sensorless BLDC Motor*, ISIE PP.605-610
- 6) L Zongwang dan Fuyan Sun, 2011, *Soft-Start Circuitary for DC Motor*, IEEE PP. 3151-3153

- 7) Rashid, Muhammad H, 2011, *Power Electronics Handbook Third Edition*, Elsevier, Oxford
- 8) Tibor, Balogh, Fed k, Viliam dan Franst ek urovsk , 2011, *Modeling and Simulation of the BLDC Motor in MATLAB GUI*, ISIE PP.1403-1407
- 9) Yedamale, Padmaraja, 2003, *Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals*, Microchip Technology Inc.
- 10) Gieras, Jacek F dan Mitchell Wing, 2002, *Permanant Magnet Motor Technology*, Marcel Dekker, New York
- 11) El-Sharkawi, Mohamed A., 2000, *Fundamentals of Electric Drives*, Brooks/Cole, Pacific Grove
- 12) Mohan, Ned, Tore M. Undeland dan William P. Robbins, 1995, *Power Electronics, Converter, Application, and Design second edition*, John Wiley & Sons, New York

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS



DATA UMUM

Nama Lengkap : Fakih Irsyadi
Tempat &Tgl. Lahir : Boyolali, 9 April 1990
Jenis Kelamin : Laki-laki
Instansi Pekerjaan : Magister Kendali dan Sistem Cerdas STEI ITB
NIP. / NIM. : 23214021
Pangkat / Gol.Ruang : -
Jabatan Dalam Pekerjaan : Mahasiswa
Agama : Islam
Status Perkawinan : Menikah

DATA PENDIDIKAN

SLTA : SMA Negeri 1 Surakarta Tahun: 2015
STRATA 1 (S.1) : Institut Teknologi Telkom Tahun: 2008
STRATA 2 (S.2) : Institut Teknologi Bandung Tahun: 2014
STRATA 3 (S.3) : - Tahun: -

ALAMAT

Alamat Rumah : Jl. Dr.Rajiman 361 Baron, Surakarta 57149, Jawa Tengah
Alamat Kantor / Instansi :Jl. Ganesha 10. *Bandung* 40132, Jawa Barat, Indonesia
HP. : 085642122717
Telp. : -
Email : fakih_irsyadi@yahoo.com

RIWAYAT SINGKAT PENULIS



Fakih Irsyadi, S.T, M.T, lahir pada tanggal 9 april 1990 di kota Boyolali (Jawa Tengah). Pada tanggal 29 Juli 2016 telah menyelesaikan *study* master dibidang teknik elektro (Kendali dan Sistem Cerdas) di Institut Teknologi Bandung. Mempunyai pengalaman kurang lebih 2 tahun bekerja di bagian RnD pada perusahaan *smartcard*. Beberapa topik penelitian yang diminati adalah kendali, *embedded system*, motor listrik serta instrumentasi.